

**DERWENT-ACC-NO:** 1999-168013

**DERWENT-WEEK:** 200446

**COPYRIGHT** 2005 DERWENT INFORMATION LTD

**TITLE:** Floating type slider used in recording and reproducing apparatus - consists of positive pressure generating units and negative pressure generating units observed by airflow direction, with slider base lower than pars-anterior surface

**INVENTOR:** ROPPONGI, T; SATO, I ; WADA, T ; WADA, Y

**PATENT-ASSIGNEE:** TDK CORP[DENK]

**PRIORITY-DATA:** 1998JP-0028925 (February 10, 1998) , 1997JP-0072494 (March 25, 1997) , 1997JP-0245736 (September 10, 1997)

**PATENT-FAMILY:**

PUB-NO	PUB-DATE	LANGUAGE	PAGES	MAIN-IPC
PH 1199800665 B1	June 11, 2003	N/A	000	G11B 005/60
CN 1199902 A	November 25, 1998	N/A	001	G11B 005/60
JP 11149734 A	June 2, 1999	N/A	027	G11B 021/21
SG 69403 A1	December 21, 1999	N/A	000	G11B 021/21
US 6144529 A	November 7, 2000	N/A	000	G11B 005/60
US 6317294 B1	November 13, 2001	N/A	000	G11B 005/60
JP 3292296 B2	June 17, 2002	N/A	026	G11B 021/21

**APPLICATION-DATA:**

PUB-NO	APPL-DESCRIPTOR	APPL-NO	APPL-DATE
PH1199800665B1	N/A	1998PH-0000665	March 23, 1998
CN 1199902A	N/A	1998CN-0109239	March 25, 1998
JP 11149734A	N/A	1998JP-0028925	February 10, 1998
SG 69403A1	N/A	1998SG-0006070	May 19, 1998
US 6144529A	N/A	1998US-0046790	March 24, 1998
US 6317294B1	Div ex	1998US-0046790	March 24, 1998
US 6317294B1	N/A	2000US-0649030	August 28, 2000

US 6317294B1	Div ex	US 6144529	N/A
JP 3292296B2	N/A	1998JP-0028925	February 10, 1998
JP 3292296B2	Previous Publ.	JP 11149734	N/A

**INT-CL (IPC):** G11B005/60, G11B021/21

**ABSTRACTED-PUB-NO:** JP 11149734A

**EQUIVALENT-ABSTRACTS:**

**NOVELTY** - Positive pressure generating units (110,120) with almost flat surfaces (112,122) respectively, are separated mutually by a space in the width-direction Y crossed orthogonally with length direction X. A negative pressure generating unit (130) is provided behind the pars-anterior surface (100) below which slider base is provided. **DETAILED DESCRIPTION** - The negative pressure generating unit is observed by the air flow direction. Step surfaces (111,121) rise from the pars-anterior surface (100) in the air- flow in end side (LE). The pars-anterior surface finishes midway through length direction which is in accord with flow direction of air. An **INDEPENDENT CLAIM** is also included for the head apparatus.

**USE** - Used in recording and reproducing apparatus.

**ADVANTAGE** - Prevents contact with disc-like medium by providing high flotation stability opposing oscillations. The slider is provided with a small, thin head and can be produced by mass production. **DESCRIPTION OF DRAWING(S)** - The figure shows perspective diagram of a slider. (100) Pars-anterior surface; (110,120) Positive pressure generating units; (111,121) Step surfaces; (112,122) Flat surfaces; (130) Negative pressure generating unit; (LE) Air-flow in end side.

**CHOSEN-DRAWING:** Dwg.1/53

**TITLE-TERMS:** FLOAT TYPE SLIDE RECORD REPRODUCE APPARATUS CONSIST POSITIVE PRESSURE GENERATE UNIT NEGATIVE PRESSURE GENERATE UNIT OBSERVE AIRFLOW DIRECTION SLIDE BASE LOWER ANTERIOR SURFACE

**DERWENT-CLASS:** T03

**EPI-CODES:** T03-A05C1A;

**SECONDARY-ACC-NO:**

**Non-CPI Secondary Accession Numbers:** N1999-277111

[19]中华人民共和国专利局

[51]Int.Cl<sup>6</sup>

G11B 5/60



## [12] 发明专利申请公开说明书

[21] 申请号 98109239.X

[43]公开日 1998 年 11 月 25 日

[11] 公开号 CN 1199902A

[22]申请日 98.3.25

[30]优先权

[32]97.3.25 [33]JP[31]72494 / 97

[32]97.9.10 [33]JP[31]245736 / 97

[32]98.2.10 [33]JP[31]28925 / 98

[71]申请人 TDK株式会社

地址 日本东京都

[72]发明人 和田善光 六本木哲也 佐藤勇武  
和田健[74]专利代理机构 中国专利代理(香港)有限公司  
代理人 林长安

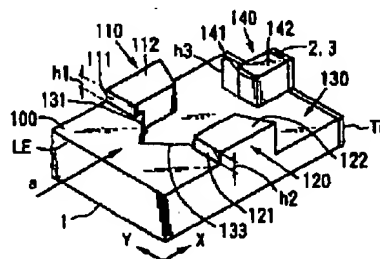
权利要求书 3 页 说明书 32 页 附图页数 31 页

[54]发明名称 滑动器和磁头

[57]摘要

本发明涉及对实现高密度写和增加存储容量非常有效的滑动器、磁头、磁头装置和写/读装置。

滑动器包括一个前平板表面, 一个第一正压力产生部分、一个第二正压力产生部分和一个第一反压力产生部分。前平板表面开始于前缘, 结束于沿纵长方向的中点。第一和第二正压力产生部分具有高度实质上相等的平板表面, 并被彼此分开一个距离固定在垂直于纵长方向延伸的宽度方向的两侧, 其一端的边缘朝向前缘固定, 前缘形成在一个台阶中从前平板表面上升的台阶面。第一反压力产生部分设置在相对于空气流方向的前平板表面之后, 并具有一个高度低于前平板表面高度的基面。



(BJ)第 1456 号

000000

## 权 利 要 求 书

- 1.一种在面对介质的表面接受动态空气压力的滑动器,所说的表面包括:  
一个开始于前缘并连续到沿纵长方向的一个中点的前平板表面;  
5 一个第一正压力产生部分和一个第二正压力产生部分,具有实质上相等的高度并被设置在两侧,彼此在垂直于纵长方向延伸的宽度方向上分开一个距离,并在位于朝向所说的前缘固定的一端具有边缘,该前缘形成在一个台阶中从所说的前平板表面上升的台阶面; 和  
一个第一反压力产生部分,相对于空气流方向被设置在所说的前平板表面  
10 后,并具有高度低于所说的前平板表面的基面。  
2.根据权利要求1的滑动器,通过所说的面对介质的表面,另外包括:  
一个第三正压力产生部分,朝向所说的后缘定位,并在朝向所说的前缘固定的一端具有一个边缘,所说的前缘形成在一个台阶中从所说的第一反压力产生部分的所说的基面上升的一个台阶面。  
15 3.根据权利要求2的滑动器,其中所说的第三正压力产生部分被固定在相对于宽度方向的中央部分。  
4.根据权利要求1的滑动器,其中所说的第一正压力产生部分和所说的第二正压力产生部分延伸到所说的后缘。  
5.根据权利要求1的滑动器,其中所说的面对介质的表面,另外包括:  
20 一个第四正压力产生部分,固定在所说的第一正压力产生部分之后,在纵长方向上隔开一个距离; 和  
一个第五正压力产生部分,固定在所说的第二正压力产生部分之后,在纵长方向上隔开一个距离。  
6.根据权利要求5的滑动器,通过所说的面对介质的表面,另外包括:  
25 一个第二正压力产生部分,固定在所说的第一正压力产生部分和所说的第四正压力产生部分之间; 和  
一个第三反压力产生部分,固定在所说的第二正压力产生部分和所说的第五正压力产生部分之间。  
7.根据权利要求6的滑动器,其中所说的第二反压力产生部分由从所说的  
30 第一正压力产生部分的表面下降的锯齿部分构成;

000000

所说的第三反压力产生部分由从所说的第二正压力产生部分的表面下降的锯齿部分构成;

所说的第四正压力产生部分从所说的第二正压力产生部分的表面上升;

所说的第五正压力产生部分从所说的第三反压力产生部分的表面上升; 以

5 及

设置所说的第一反压力产生部分的所说的基面低于所说的第二反压力产生部分和所说的第三反压力产生部分的表面。

8.根据权利要求 5 的滑动器, 其中所说的第四和第五正压力产生部分的高度实质上等于所说的第一和第二正压力产生部分的高度。

10 9.根据权利要求 7 的滑动器, 其中所说的第一、第二、第四和第五正压力产生部分的表面和所说的锯齿部分的表面之间的每一个边界形成在一个深度为  $0.1\mu\text{m}$  或更大的台阶中。

10.根据权利要求 7 的滑动器, 其中所说的锯齿部分的表面被形成, 从而从所说的前缘侧开始朝向中央部分变窄, 并且从所说的中央部分开始朝向所说的后缘变宽。

11.根据权利要求 1 的滑动器, 其中所说的第一正压力产生部分和所说的第二正压力产生部分在所说的滑动器的所说的宽度方向上连续, 以构成一单个的平板表面。

12.根据权利要求 1 的滑动器, 其中所说的前平板表面形成从所说第一正压力产生部分和所说的第二正压力产生部分的所说的台阶面开始变窄的形状, 并延伸到所说的前缘。

13.根据权利要求 5 的滑动器, 其中所说的第四正压力产生部分的表面和所说的第五正压力产生部分的表面延伸到所说的后缘。

14.根据权利要求 1 的滑动器, 其中所说的面对介质的表面具有一个相对于垂直于所说的纵长方向延伸的宽度方向上的中央轴对称的形状。

15.根据权利要求 2 的滑动器, 其中确定所说的前平板表面、所说的第一正压力产生部分、所说的第二正压力产生部分和所说的第三正压力产生部分的每一个表面的端缘是直线、曲线或二者的结合。

16.根据权利要求 5 的滑动器, 其中确定所说的第四正压力产生部分和所说的第五正压力产生部分的每一个表面的端缘是直线、曲线或二者的结合。

99-00-07

17.根据权利要求 7 的滑动器, 其中确定所说的锯齿部分的每一个表面的端缘是直线、曲线或二者的结合。

18.根据权利要求 1 的滑动器, 其中所说的前平板表面和所说的第一正压力产生部分之间和所说的前平板表面和所说的第二正压力产生部分之间的所说的  
5 的台阶的高度差被设置在 0.1 到 1.0 $\mu$ m 范围内。

19.根据权利要求 1 的滑动器, 其长度为 1.25mm 或更小, 宽度为 1.00mm 或更小, 重量为 1.6mg 或更小。

20.一种用于写和读取介质的磁头, 设有一个具有一个面对介质的表面的滑动器和至少一个转换器, 其中:

10 所说的滑动器为根据权利要求 1 到 19 的任一种滑动器; 和  
所说的转换器朝向所说的滑动器的后缘设置。

21.根据权利要求 20 的磁头, 其中所说的转换器由电磁转换器构成。

22.一种磁头装置, 包括一个磁头悬架, 磁头悬架的一端为自由端, 一个被  
固定到所说的磁头悬架的所说的自由端的磁头, 固定的方式为其节锥和辊移动  
15 被允许并且所说的磁头从所说的磁头悬架接受一个负载力, 其中:

所说的磁头为根据权利要求 20 或 21 的任一磁头。

23.根据权利要求 21 的磁头装置, 其中所说的磁头的负载点从所说的磁头的重力中心朝向所说的前缘偏移。

24.一种读/写装置, 包括被驱动而旋转的盘状介质; 和  
20 一个磁头装置, 其中:

所说的磁头装置为根据权利要求 20 或 21 的任一磁头, 通过所说的盘状介质的旋转所说的磁头在所说的盘状介质的表面上被悬空, 并且通过旋转装置所说的磁头沿几乎与盘状介质的半径方向相同的圆弧移动。

25.根据权利要求 24 的读/写装置, 其中:

25 当所说的磁头悬空时实现的节锥角为  $1.5 \times 10^{-4}$  (rad)。



## 说明书

### 滑动器和磁头

5 本发明涉及一个滑动器、一个磁头、一个磁头设备和一个写/读装置。

在作为计算机的一个外部写装置的写/读装置中，使用一个悬空型磁头，它在滑动器上产生一个提升力，通过应用动态空气压力原理，使其越过盘状介质。在这种类型的写/读装置中，当盘状介质处于停止状态时滑动器与盘状介质接触，当盘状介质旋转时，旋转产生的空气流作用于滑动器空气承压表面，使其越过盘状介质，同时保持规定的悬空高度以执行信息的写/读。目前使用的典型写/读装置是磁写/读装置，在此装置中使用磁盘和具有滑动器的磁头。日本专利公开 No.569/1982 和 U.S.专利 No.3,823,416 公开了锥形平板滑动器。

为了实现高密度写，写/读装置必须满足的基本的要求之一是降低悬空高度。近年来，写/读装置执行的高密度写需要降低滑动器部位的悬空高度，在此部位的转换器降低到 25nm 或更低。此外，当采取区位写时，在盘状介质的整个表面上以最大写密度执行写，希望在从盘状介质的内轨迹到外轨迹的整个查找区上悬空高度尽可能一致。

此外，作为实现磁存储设备中较大存储容量的方法，一个使用磁阻元件（以下称之为 MR 元件）作为读取元件的磁头已经被提出并投入实际应用。与在现有技术感应转换器中不同，现有技术中的输出信号取决于盘状介质的圆周速度，MR 元件中的信号输出不取决于盘状介质的圆周速度。结果，在使用一个 MR 元件作为读取元件的磁头中，实现了一个读取信号，它不取决于盘状介质的圆周速度。磁头的空气承压表面必须被设计为保证在盘状介质的整个写区域上实现几乎恒定的悬空高度。

25 接下来，由于磁头的结构特征，转换器被固定在从后缘进一步向内约 35 到 50 $\mu\text{m}$ 。当使如上述结构的磁头悬空在一个非常小的悬空高度时，如 25nm 或更小，需要设置悬空期间滑动器长度方向上的一个空间方位角（节锥角）小于  $3 \times 10^{-4}$  (rad)，作为防止滑动器后缘和盘状介质之间接触的措施。日本专利 No.2,573,236 公开了一种技术，通过该技术悬空状态被稳定在一个节锥角小的范围内，难以从内轨迹到外轨迹保持一致的悬空高度，由于此专利中公开的



磁头是一个锥形平板磁头，从而悬空高度仍然在 25nm 或更小，磁头本身同样使其难于防止诸如当滑动器后缘与盘状介质接触时产生的磁头撞击问题。

作为实现恒定悬空高度的方法，考虑把滑动器设计为利用反压力的反压力滑动器。这种滑动器被公开在日本已审查专利 No.1619/1995 和 US.专利 No.4,734,803 中。但是，这种类型的滑动器存在问题，如出现在磁存储装置内的灰尘附着到反压力滑动器的锯齿部分，大大地改变了滑动器的悬空高度，并且滑动器吸引到盘状介质的表面。因此，为了把反压力滑动器投入实际应用，必须研究一种具有防止灰尘影响其操作的新的悬空表面的滑动器，其具有好的悬空开始特性（启动特性），并避免了其中的吸引现象。粘附于滑动器的磁存储装置中的灰尘导致的问题不局限于反压力滑动器，同样也能够产生在其它类型的滑动器中。

另一个至关重要的要求是改进与盘的震动有关的滑动器的随动稳定性。形成在滑动器和盘状介质之间的一个空气润滑膜具有缓冲的效果，滑动器悬空同时保持空气润滑膜和磁头悬架的恢复力之间的平衡。当盘状介质的震动频率增加时，由于滑动器块的惯性，滑动器的随动稳定性破坏。为了设计具有好的随动稳定性的滑动器，实现高水平的空气润滑膜刚度是至关重要的。

由于通过现有技术的磁头或滑动器很难满足上述技术目标和要求，因此需要研究新磁头。而且，一种利用近场写/读系统的光盘装置，由于其打破了磁写/读装置实现的高写密度，近年来已为众人所知。在利用近场写和读系统的光盘装置中，一种悬空型滑动器被使用。因此，与磁写/读装置相关解释的相同问题存在并且必须写明。

本发明的一个目的是提供非常有效地实现高密度写和增加存储容量的磁头、滑动器、磁头装置和写/读装置。

本发明的另一个目的是提供一个滑动器和具有一个新结构的空气承压表面的磁头。

本发明的另一个目的是提供一个滑动器和磁头，即使悬空高度为 25nm 或更小也能避免接触盘状介质。

本发明的另一个目的是提供一种即使在悬空高度为 25nm 或更小的情况下也能实现抗干扰和震动的高度悬空稳定性的磁头、滑动器、磁头装置和写/读装置。





本发明的另一个目的是提供一种当悬空时其中的节锥角能够被设置为  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更少的磁头、滑动器、磁头装置和写/读装置。

本发明的另一个目的是提供一种更小、更薄的滑动器和磁头，实现突出的批量生产率。

5 本发明的另一个目的是提供一种可以通过采取高精密度图案形成技术如干燥蚀刻的整体加工实现的滑动器和磁头。

为了实现上述目标，根据本发明的滑动器在面对介质的表面接收动态空气压力，介质包括一个前平板表面、一个第一正压力产生部分、一个第二正压力产生部分和一个第一反压力产生部分。前平板表面开始于一个前缘，在沿纵长  
10 方向的中点结束。第一和第二正压力产生部分具有实质相同的高度并被彼此分开一个距离固定在垂直于纵长方向的宽度方向的两侧的平板表面，其一端的边缘朝向前缘固定，此前缘形成从一个台阶中的前平面上升的台阶面。第一反压力产生部分设在相对于空气流方向的前平面后，并具有一个高度低于前平面高度的基面。

15 应用到磁头，设置转换器朝向滑动器后缘。一个电磁转换器被用在磁头中，一个光转换器被用在近场写/读系统中。在写/读装置中的应用中，固定在面对介质的表面的相对侧的根据本发明的磁头的表面被一个磁头悬架支承，通过当盘状介质旋转时产生的动态空气压力，面对介质的表面使磁头悬空。根据本发明的磁头应当与具有高度表面精确度的盘状介质结合，例如，当其悬空在  
20 非常小的悬空高度 25nm 或更小时，表面粗糙度  $Ra \leq 1nm$ 。

根据本发明的滑动器包括一个前平板表面、一个第一正压力产生部分、一个第二正压力产生部分和一个在面对介质的表面上的第一反压力产生部分。第一和第二正压力产生部分被彼此分开一个距离固定在宽度方向的两侧。第一反压力产生部分被固定在第一和第二正压力部分之间。结果，当盘状介质被旋转  
25 时，第一和第二正压力部分导致的两个提升动态压力彼此分开一个距离产生在前缘的宽度方向的两侧，并且第一反压力产生部分导致的第一反压力位于两个提升动态压力之间。

此外，由于前平板表面的高度低于第一和第二正压力产生部分的高度，高于第一反压力产生部分基面的高度，前平板表面被设置在前缘与第一和第二正  
30 压力产生部分之间，在第一和第二正压力产生部分的表面产生具有高度稳定性

000000

的高刚度空气润滑膜, 实现稳定的随动特性。

实现这种压力分布的空气承压表面的结构是新的, 其已经被证实即使在悬空高度为 25nm 或更小时的, 悬空高度被稳定地保持并且防止了与盘状介质接触。

- 5 此外, 可将第一和第二正压力产生部分的表面设置为在一个规定的大小, 在前缘增加负载容量。这导致空气润滑膜刚度增加, 并且因此, 即使当实现 25nm 或更小的最低悬空高度时, 具有低节锥角的悬空状态以一个稳定的方式保持。此外, 由于保持了高刚度空气润滑膜, 盘状介质表面的随动稳定性被提高。因此, 即使当悬空高度被减小到 25nm 或更低时, 能够防止磁头和盘状介
- 10 质表面在悬空高度为其最小值的滑动器后缘的接触。

由于第一正压力产生部分和第二正压力产生部分构成具有实质上相同高度的平板表面并被设置在相隔一个距离的宽度方向上的两侧, 同样实现了卷轴角的稳定性。

- 此外, 已经证实通过上述结构的新的空气承压表面, 即使在悬空高度为
- 15 25nm 或更小时, 由于空气润滑膜的刚度高, 实现了抗干扰和振动的高度悬空稳定性。

此外, 通过上述的新空气承压表面结构, 节锥角能够被设置在  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更小, 并且即使在悬空高度为 25nm 或更小时, 避免了滑动器后缘和盘状介质之间的接触。

- 20 从气流的方向来看, 第一反压力产生部分的前缘必须被密闭。在此情况下, 前缘被典型地作为一个台阶构成。适当地选择台阶的高度和连接到台阶的表面的大小、形状等, 以实现悬空高度为 25nm 或更小时要求的悬空特性。

- 以此方式形成具有台阶的第一正压力产生部分和第一反压力产生部分, 其实现的优越性在于实现了上述悬空特性, 并且通过采取高精密度图案形成技术
- 25 如干燥蚀刻, 所有这些部分能够作为一个整体单元加工制成。

因此, 根据本发明, 为实现高写密度、增加存储容量和实现突出的批量生产率提供了非常有效的更小、更薄的磁头。适当地选择台阶高度、连续到台阶的上表面面积以及第一和第二正压力产生部分形状等, 以实现悬空高度为 25nm 或更小时要求的悬空特性。

- 30 作为根据本发明的滑动器的一个优选例子, 面对介质的表面可以进一步包



括一个第三正压力产生部分。第三正压力产生部分朝向后缘设置，并且其一端的一个边缘朝向前缘。此前缘形成从一个台阶中的第一反压力产生部分的基面  
上升的台阶面。通过这种结构，当盘状介质被旋转时，沿空气流方向，第一和  
第二正压力产生部分导致的两个提升动态压力朝向前缘产生，第三正压力产生  
5 部分导致的一个提升动态压力产生，并且第一反压力产生部分导致的一个反压  
力产生在第一和第二正压力产生部分导致的两个提升动态压力与第三正压力  
产生部分导致的提升动态压力之间。实现上述这种压力分布的空气承压表  
面结构是新的，并且其已经被证实即使在悬空高度为 25nm 或更低时，防止了  
与盘状介质的接触。

10 作为本发明的滑动器或磁头的另一个优选例子，面对介质的表面可以进一  
步包括一个第四正压力产生部分和一个第五正压力产生部分。第四正压力产生  
部分位于第一正压力产生部分之后，在纵长方向隔开一个距离，并在一端具有  
一个朝向前缘的边缘。第五正压力产生部分位于第二正压力产生部分之后，在  
纵长方向隔开一个距离，并在一端具有一个朝向前缘的边缘。通过这种结构，  
15 由于形成了由第四正压力产生部分和第五正压力产生部分构成的两个正空气  
轴承面，前缘负载容量增加。这导致空气润滑膜刚度增加，从而提高与盘状介  
质表面有关的随动稳定性。当提供第四和第五正压力产生部分时，面对介质的  
表面可以进一步包括一个第二反压力产生部分和一个第三反压力产生部分。第  
二反压力产生部分形成在第一正压力产生部分第四正压力产生部分之间。第三  
20 反压力产生部分形成在第二正压力产生部分和第五正压力产生部分之间。

通过上述这种结构，当盘状介质旋转时，第一正压力产生部分、第二反压  
力产生部分和第四正压力产生部分、第三反压力产生部分和第四正压力产生部  
分构成的一系列空气轴承面彼此平行形成在滑动器宽度方向的两侧。

此外，由于第一反压力产生部分，第一反压力在由第一正压力产生部分、  
25 第二正压力产生部分、第二反压力产生部分、第三反压力产生部分、第四正压  
力产生部分和第五正压力产生部分封闭的一个区域内产生。

实现这种压力分布的磁头是新的，并且其已经被证实即使在悬空距离为  
25nm 或更小时，可保持一个稳定的状态，从而防止了与盘状介质的接触。

此外，通过使第一正压力产生部分、第二正压力产生部分、第四正压力产  
30 生部分和第五正压力产生部分朝向滑动器的四个角，在四个角中实现了空气润



滑膜的高刚度，从而提高了随动稳定性。

此外，由于第一和第二正压力产生部分增加朝向前缘的负载容量以增加空气润滑膜的刚度，在 25nm 或更小的非常低的悬空高度状态中实现了一个小节锥角，并且保持小节锥角稳定，以进一步提高磁头的随动稳定性。通过具有新的磁头随动稳定性的磁头，通过具有上述新结构的磁头，节锥角可以被设置得较小，为  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更小。也已经证实由于实现了高度的空气润滑膜刚度，即使在悬空高度为 25nm 或更小时，也能够避免滑动器后缘和盘状介质之间的接触。

此外，已经证实，通过具有上述新结构的磁头，通过使盘状介质的干扰、震动和灰尘导致的悬空高度的波动最小化，确保了一个高度为 25nm 或更小的、稳定的小悬空高度。

此外，通过利用在面对介质的滑动器表面上的高精密度图案形成技术如干燥蚀刻的整体加工形成正压力产生部分和反压力产生部分。

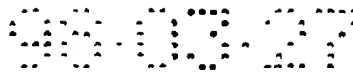
因此，根据本发明，为实现较高写密度、增加存储容量和显著批量生产率，提供了非常有效的一个较小、较薄的磁头。

在一个理想的模式中，每一个第二和第三反压力产生部分由一个从第一和第二正压力产生部分的表面下降的锯齿部分构成。第四和第五正压力产生部分从锯齿部分的其中一个表面上升。

希望形成锯齿的产生部分的表面，使得从前缘侧开始到中央部分变窄，从而使得从中央部分开始到后缘侧变宽。通过这种结构，卷轴特性被提高。

在包括第四和第五正压力产生部分以及第二和第三反压力产生部分的实施例中，可以包括上述第三正压力产生部分。设置第三正压力产生部分朝向后缘，并且其一端的一个边缘朝向前缘，并从一个台阶中的第一反压力产生部分的基面上升。转换器将被安装在第三正压力产生部分的中央。当这种结构在读写装置被采用时，这种结构实现了悬空特性，将减小整个盘状介质表面上节锥角波动造成的影响。

第一和第二正压力产生部分可以在滑动器的宽度方向定向，该滑动器采取一种结构，在此结构中，第一和第二正压力产生部分连续，形成一个单平板表面，此平板表面为空气承压面。在此例子中，由于在前缘侧的负载容量进一步增加，以增加空气润滑膜刚度，因此在 25nm 或更小的非常低的悬空高度，节



锥角被以一个稳定的方式保持，并且磁头的随动稳定性也被提高。

第一和第二正压力产生部分可以朝滑动器后缘延伸设置，该滑动器具有至少安装在第一正压力产生部分或第二正压力产生部分的电磁转换器。

根据本发明的磁头中的滑动器应当优选地具有一个 1.25mm 的长度和  
5 1.0mm 或更少的宽度，并且应当具有 1.6mg 或更少的重量。

此外，希望以这种方式形成面对介质的滑动器的表面，它实现相对于沿纵长方向运行的滑动器中央轴的对称。此结构使得能够通过整体制造形成空气轴承台阶，整体加工采用微加工方法，如干燥蚀刻，而无须执行机械加工，从而易于在批量产品制造中控制尺寸并提高批量生产率。

10 第一、第二、第四和第五正压力产生部分和延伸部分的表面之间的边界应形成一个高度为 0.1 $\mu$ m 或更高的台阶。此外，确定第一、第二、第四和第五正压力产生部分和延伸部分中每一部分的表面的端缘是直线、曲线或二者的结合。

在参考附图的进一步详细描述中，本发明的更具体的特征和优越性被解  
15 释。

图 1 示出了根据本发明的磁头的第一实施例的立体图。

图 2 示出了从固定面对介质的表面的侧边看图 1 中的磁头的平视图。

图 3 示出了图 2 所示磁头的正视图。

图 4 示出了图 2 所示磁头的侧视图。

20 图 5 示出了沿图 2 中的 5-5 线的截面图。

图 6 示出了图 1 到图 5 所示的磁头的放大的截面图，设有电磁转换器。

图 7 示出了根据本发明的写/读装置。

图 8 示出了用在图 7 所示的磁写/读装置中的磁头装置的侧视图。

图 9 示出了图 7 所示的磁写/读装置的操作。

25 图 10 示出了图 7 所示的磁写/读装置的一个模型。

图 11 示出了关于使用图 1 到 5 所示的磁头的磁写/读装置中的标准化的滑动器长度和标准化压力之间的关系的的数据。

图 12 示出了关于使用图 1 到 5 所示的磁头的磁写/读装置中的标准化的滑动器长度和标准化压力之间的关系的三维数据。

30 图 13 示出了关于使用图 1 到 5 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位置

000000

和悬空高度之间的关系的的数据。

图 14 示出了关于使用图 1 到 5 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位置和节锥角之间的关系的的数据。

图 15 示出了关于使用图 1 到 5 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位置  
5 和随磁头中台阶面高度变化而达到的悬空高度之间的关系的的数据。

图 16 示出了关于使用图 1 到 5 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位置  
和随磁头中台阶面高度变化而达到的节锥角之间的关系的的数据。

图 17 示出了关于使用图 1 到 5 所示的磁头的磁写/读装置中盘状介质表面  
平行移动造成悬空高度的波动的的数据。

10 图 18 示出了根据本发明的磁头的第二实施例的立体图。

图 19 示出了从固定面对介质的表面的侧边看图 18 中的磁头的平视图。

图 20 示出了关于使用图 18 和 19 所示的磁头的磁写/读装置中的标准化的  
滑动器长度和标准化压力之间的关系的三维数据。

图 21 示出了根据本发明的磁头的第三实施例的立体图。

15 图 22 示出了从固定面对介质的表面的侧边看图 21 中的磁头的平视图。

图 23 示出了图 22 所示的磁头的正视图。

图 24 示出了图 22 所示的磁头的侧视图。

图 25 示出了沿图 22 中的 25-25 线的截面图。

图 26 示出了关于使用图 21 至 25 所示的磁头的磁写/读装置中的标准化的  
20 滑动器长度和标准化压力之间的关系的的数据。

图 27 示出了关于使用图 21 至 25 所示的磁头的磁写/读装置中的标准化的  
滑动器长度和标准化压力之间的关系的三维数据。

图 28 示出了关于使用图 21 至 25 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位  
置和悬空高度之间的关系的的数据。

25 图 29 示出了关于使用图 21 至 25 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位  
置和节锥角之间的关系的的数据。

图 30 示出了关于使用图 21 至 25 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位  
置和随磁头中台阶面高度变化而达到的悬空高度之间的关系的的数据。

30 图 31 示出了关于使用图 21 至 25 所示的磁头的磁写/读装置中的滑动器位  
置和随磁头中台阶面高度变化而达到的节锥角之间的关系的的数据。



图 32 示出了根据本发明的磁头的第四实施例的立体图。

图 33 示出了从固定面对介质的表面的侧边看图 32 中的磁头的平视图。

图 34 示出了计算机模拟数据, 此计算机模拟数据三维地示出了通过使用图 7 和 8 所示的写/读装置中的磁头实现的标准化滑动器长度和标准化滑动器宽度, 以及标准化压力之间的关系。

图 35 示出了关于通过在图 7 和 8 所示的写/读装置中使用第一实施例中的磁头实现的标准化的滑动器长度和标准化压力之间的关系的的数据。

图 36 示出了关于在使用图 32 所示的磁头的写/读装置中实现的滑动器位置和悬空高度之间的关系的的数据。

图 37 示出了关于在使用图 32 所示的磁头的写/读装置中实现的滑动器位置和节锥角之间的关系的的数据。

图 38 示出了关于在使用图 32 所示的磁头的写/读装置中实现的盘状介质旋转速率 ( rpm ) 和悬空高度之间的关系的的数据。

图 39 示出了根据本发明的磁头的第五实施例的立体图。

图 40 示出了从固定面对介质的表面的侧边看图 39 中的磁头的平视图。

图 41 示出了计算机模拟数据, 此计算机模拟数据三维地示出了通过在图 7 和 8 所示的写/读装置中使用图 39 所示的磁头实现的标准化滑动器长度和标准化滑动器宽度, 以及标准化压力之间的关系。

图 42 示出了关于通过在图 7 和 8 所示的写/读装置中使用图 39 所示的磁头实现的标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系的的数据。

图 43 示出了根据本发明的磁头的第六实施例的立体图。

图 44 示出了从固定面对介质的表面的侧边看图 43 中的磁头的平视图。

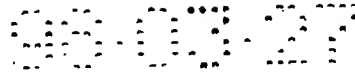
图 45 示出了计算机模拟数据, 此计算机模拟数据三维地示出了通过在图 7 和 8 所示的写/读装置中使用图 43 所示的磁头实现的标准化滑动器长度和标准化滑动器宽度, 以及标准化压力之间的关系。

图 46 示出了关于通过在图 7 和 8 所示的写/读装置中使用图 43 所示的磁头实现的标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系的的数据。

图 47 示出了根据本发明的磁头的第七实施例的立体图。

图 48 示出了从固定面对介质的表面的侧边看图 47 中的磁头的平视图。

图 49 示出了计算机模拟数据, 此计算机模拟数据三维地示出了通过在图 7



和 8 所示的写/读装置中使用图 47 所示的磁头实现的标准化滑动器长度和标准化滑动器宽度, 以及标准化压力之间的关系。

图 50 示出了关于通过在图 7 和 8 所示的写/读装置中使用图 47 所示的磁头实现的标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系的数据。

5 图 51 示出了关于在使用图 39、43 和 47 所示磁头的写/读装置中实现的滑动器位置和悬空高度之间的关系的数据。

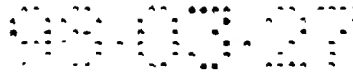
图 52 示出了关于在使用图 39、43 和 47 所示磁头的写/读装置中实现的滑动器位置和节锥角之间的关系的数据。

图 53 示出了关于在使用图 39、43 和 47 所示磁头的写/读装置中实现的盘  
10 状介质旋转速度 (rpm) 和悬空高度之间的关系的数据。

参考图 1 到 5, 示出了第一实施例, 根据本发明的磁头包括一个滑动器 1 和转换器 2 和 3。转换器 2 和 3 构成两个元件, 即, 一个写元件和一个重放元件。滑动器 1 设有一个前平板表面 100、一个第一正压力产生部分 110、一个第二正压力产生部分 120、和一个第一反压力产生部分 130。前平板表面 100  
15 从前缘 LE 开始, 连续到沿纵长方向 X 的一个中点, 第一正压力产生部分 110 和第二正压力产生部分 120 具有上表面 112 和 122, 上表面 112 和 122 构成具有实质上相同高度的平板表面, 并被彼此分开一个距离固定在垂直于纵长方向 X 延伸的宽度方向 Y 的两侧。第一和第二正压力产生部分 110 和 120 各自在朝向前缘 LE 的一端具有一个边缘, 形成从一个台阶中的前平板表面 100 上升的  
20 台阶面 111 和 121。第一反压力产生部分 130 相对箭头 (a) 指示的空气流方向设置在前平板表面 100 之后, 并具有一个低于前平板表面 100 的上表面的基面, 还具有一个朝向前缘 LE 固定的前缘 133, 形成上升台阶面 131, 以构成第一反压力产生部分。第一反压力产生部分 130 从前平板表面 100 的端缘下降并连接到后缘 TR 上。

25 从空气流方向 (a) 来看, 前平板表面 100 的前缘 133 必须被关闭。在此情况下, 前缘 133 典型地构成为台阶面 131。台阶的高度和表面的大小、形状等被合适地选择以实现在 25nm 或更低时要求的悬空特性。更具体地, 台阶高度可以被设置为接近  $2.5\mu\text{m}$ 。理想的是, 把滑动器 1 的长度、宽度和重量分别设置为 1.25mm 或更短、1.00mm 或更短和 1.6mg 或更轻。转换器 2 和 3 被设  
30 置在滑动器 1 的后缘 TR。





在此第一实施例的磁头中，面对介质的表面进一步包括第三正压力产生部分 140，第三正压力产生部分 140 朝向后缘 TR 设置，并具有一个面对前缘 LE 的台阶面 141，此前缘 141 从第一反压力产生部分 130 基面上升。第三正压力产生部分 140 在宽度方向 Y 固定在接近中央部分，其另一端连续到所说的后缘 TR 上。转换器 2 和 3 被固定在第三正压力产生部分 140 上。第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140 都相对沿纵长方向 X 延伸的中央轴对称地固定。

台阶面 111、121 和 141 各自的高度  $h_1$ 、 $h_2$  和  $h_3$  以及第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140 的大小和形状分别被合适地选择以实现悬空高度为 25nm 或更小时要求的悬空特性。更具体地，台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在 0.1 到  $1.0\mu\text{m}$  的范围内。

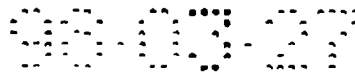
通过构成第一和第二正压力产生部分 110 和 120、第一反压力产生部分 130 和具有台阶的第三正压力产生部分 140 实现的优越性，包括要求保证悬空特性和整体加工，整体加工能够通过使用高精密度图案成形技术如干燥蚀刻来完成。

确定第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140 的平板表面的端缘为直线、曲线或二者的结合。

图 6 是一个放大的截面图，示出了图 1 到 5 所示的转换器部分，构成一个写元件的转换器 3 是一个感应薄膜转换器，而构成一个读元件的转换器 2 是一个 MR 元件。

构成一个写元件的转换器 3 设有也用作 MR 元件 2 的第二屏蔽膜的第一磁膜 31，第二磁膜 32，线圈膜 33，可以由氧化铝或类似物构成的间隙膜 34，有机树脂构成的绝缘膜 35，和铝或类似物构成的保护膜 36。第一磁膜 31 和第二磁膜 32 的前端部分构成第一极尖 P1 和第二极尖 P2，第一极尖 P1 和第二极尖 P2 相对间隙膜 34 相互面对，间隙膜 34 的厚度非常小，并在第一极尖 P1 和第二极尖 P2 执行写操作。第一磁膜 31 和第二磁膜 32 的磁轭在后间隙彼此连接，后间隙在第一极尖 P1 和第二极尖 P2 的相对侧，从而它们形成磁路。线圈膜 33 形成在绝缘膜 35 上，缠绕线圈中磁轭的连接部分。线圈膜 33 中绕组数和层数是任意的。

这里已经提出各种膜结构并在目前投入实际应用，这些膜结构的任何一种



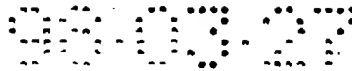
可以被采用以构成 MR 元件 2。例如，MR 元件 2 可以由通过坡莫合金或类似物实现的各向异性磁阻元件构成，或者使用一个巨磁阻（giant magnetoresistive）（GMR）膜。任何一种上述类型的元件可以在本发明中被采用。MR 元件 2 位于第一屏蔽膜 21 和也用作第二屏蔽膜的第一磁膜 31 之间的一个绝缘膜 22 内侧。绝缘膜 22 由氧化铝或类似物构成。不同于实施例，只有转换器 3 可以被用作一个读/写元件。

在写/读装置的一个应用中，位于面对介质的表面的相对侧的本发明的磁头的表面被一个磁头悬架支承，并且当盘状介质旋转时，面对介质的表面和介质的表面之间产生的空气流使磁头悬空。当根据本发明的磁头在 25nm 或更低的非常小的悬空高度悬空时，其应当与具有高度表面精确度的盘状介质结合。

图 7 示出根据本发明的写/读装置。根据本发明的磁写/读装置包括一个盘状介质 4、一个公知的磁头悬架 5、一个根据本发明的磁头 6 和一个固定装置 7。盘状介质 4 被一个旋转驱动机构（未图示）驱动，在箭头（a）指示的方向上旋转。使用一个旋转致动系统的固定装置 7 在一端支持磁头悬架 5，并在箭头 b1 和 b2 指示的方向上驱动它，箭头 b1 和 b2 处于盘状介质 4 平面上的一个特定角（斜角）上。由此，从盘状介质 4 的写入和读取在规定的轨迹执行。磁头 6 被安装到磁头悬架 5 的自由端，使得节距移动和辊轴移动被允许，并且在盘状介质 4 的平面的方向上施加一个负载。

图 8 是磁头装置的一个侧视图。通过在位于支承体 51 纵长方向上一端的一个自由端上安装薄金属板构成的一个弹性体 52，支承体 51 同样由薄金属板构成，并通过在弹性体 52 的下表面安装磁头 6，构成磁头悬架 5。磁头悬架 5 向磁头 6 施加一个负载力，把它压向盘状介质 4。在图中的弹性体 52 设有在其纵长方向上几乎与支承体 51 的轴平行延伸的两个外框架部分 521 和 522，在远离支承体 51 的一端连接外框架部分 521 和 522 的侧框架 523，舌片 524，舌片 524 从接近侧框架 523 的中央延伸，几乎与外框架部分 521 和 522 平行，同时其前端为一个自由端。位于设置侧框架 523 处的相对侧的弹性体 52 的一端通过如焊接的方法被安装在支承体 51 的自由端附近。

在支承体 51 的下表面，设置一个负载突起 525，它可以采用（例如）半球形。通过此负载突起 525，一个负载力被从支承体 51 的自由端传递到舌片 524。在负载突起 525 处的磁头 6 的负载点 P1 从磁头 6 的重力 C1 中心向流入



端偏移了一个偏差值 $\Delta D$ 。注意, 负载突起 525 可以以此方式设置: 在负载突起 525 处的磁头 6 的负载点 P1 被设置在重力 C1 的中心。

磁头 6 通过 (例如) 粘接被安装在舌片 524 的下表面。磁头 6 被安装到磁头悬架 5, 从而其纵长方向与磁头悬架 5 的纵长方向成一直线。可以在本发明中被采用的磁头悬架 5 不局限于在第一实施例中所使用的磁头悬架。可以从目前已经被提出的各种磁头悬架和以后将被提出的磁头悬架中进行选择。例如, 通过利用日本未审查专利公开 No.215513/1994 或通过使用一种弹性高聚物接线板如接头胶带 (tab tape) (TAB), 支承体 51 和舌片 524 可以被集成。

图 9 示出了图 7 和 8 所示的写/读装置的操作。在读/写操作期间, 支承磁头 6 的磁头悬架 5 通过利用一种旋转致动方法的固定装置 7 被驱动, 绕枢轴中心 O1 沿箭头 b1 和 b2 指示的方向旋转。磁头 6 在盘状介质 4 上的位置通常表示为斜角 $\theta$ 。在本发明的描述中, 斜角 $\theta$ 表示滑动器 1 的中心线在宽度方向 W 上的倾斜。

图 10 示出了图 7 和 8 所示的磁写/读装置的一个模型。磁头 6 在第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140 产生提升动态压力, 磁头悬架 5 向第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140 施加一个弹性力, 在第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140 之间的第一反压力产生部分 130 产生一个反压力。磁头 6 悬空在一个非常小的悬空高度  $g1$  和一个节锥角  $\beta$ , 弹性力、提升动态压力和反压力在那里平衡。悬空高度  $g1$  表示转换器 2 和 3 的悬空高度, 并且应当区别于后缘 TR 和盘状介质 4 之间形成的悬空高度  $g2$ 。

接下来, 参考测量的数据, 说明使用本发明的磁头的磁读写装置实现的优越性。磁头 6、磁头悬架 5 和盘状介质 4 的规格如下。

(滑动器 1)

25 长度: 0.8mm

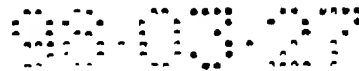
宽度: 0.6mm

厚度: 0.3mm

重量: 0.6mg

(磁头悬架 5)

30 负载力: 1.0gf



弹性率: 1.8gf/mm

负载点: 滑动器 1 的中心区域

(盘状介质 4)

盘直径: 2.5 英寸

5 盘旋转速度: 7200rpm

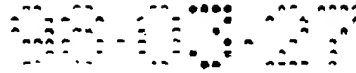
图 11 示出了关于标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系的数据。水平轴代表的标准化滑动器长度表示为从前缘 LE 沿纵长方向的位置  $x$  和滑动器 1 全部长度  $L$  的比 ( $x/L$ )。竖直轴代表的标准化压力由公式 ( $P/Pa-1$ ) 确定,  $P$  为施加到滑动器 1 的压力,  $Pa$  为大气压力。曲线 L1 代表在宽度  $W$  方向上  
10 离滑动器 1 的一端缘的距离为  $y=0.08\text{mm}$  位置处达到的压力分布, 曲线 L2 代表在距离  $y=0.30\text{mm}$  位置处达到的压力分布特征。

图 12 示出了计算机模拟数据, 三维地示出了图 11 中所示的标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系。

在根据本发明的磁头中, 面对介质的表面设有第一和第二正压力产生部分  
15 110 和 120, 第一反压力产生部分 130 和第三正压力产生部分 140, 其中第一反压力产生部分 130 位于第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140 之间。因此, 如图 11 和 12 的清楚说明, 当盘状介质 4 被旋转时, 第一和第二正压力产生部分 110 和 120 沿空气流方向 ( $a$ ) 产生第一提升动态压力, 第三正压力产生部分 140 在后缘 TR 产生一个第二提升动态压力(见特性曲线 L1),  
20 第一反压力产生部分 130 在第一提升动态压力和第二提升动态压力之间的区域产生一个反压力(见特性曲线 L2)。实现这种压力分布的空气轴承面的结构是新的, 并且即使在 25nm 或更低的悬空高度时也能够避免与盘状介质的接触。

图 13 示出了表示滑动器位置和悬空高度之间的关系的数据。滑动器的位置  
25 由介质半径和斜角表示。斜角的一个解释已经参考图 9 给出。图 13 示出了在该斜角下盘状介质 4 的旋转半径。如图 13 所示, 通过具有上述新的空气轴承面结构的磁头, 在一个较宽的斜角范围内 ( $-4.3$  到  $13.25^\circ$ ) 确保了一个非常小的悬空高度  $g1$ , 约  $10\text{nm}$ 。而且, 在一个较宽的斜角范围内 ( $-4.3$  到  $13.25^\circ$ ) 实现了抗干扰和震动的高度悬空稳定性。

30 图 14 示出了表示滑动器位置和节锥角之间的关系的数据。滑动器的位置由



介质半径和斜角表示。如图 14 所示, 通过具有根据本发明的新的空气轴承面结构的磁头, 节锥角能够被设置在  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更低, 并且即使在 25nm 或更低的悬空高度时也能够避免滑动器 1 的后缘 TR 与盘状介质 4 的接触。

此外, 第一、第二和第三正压力产生部分 110、120 和 140、和第一反压力产生部分 130 能够通过整体加工技术在面对介质的滑动器 1 的表面上形成, 整体加工技术使用一种高精密度图案形成技术如干燥蚀刻。

因此, 根据本发明, 为实现高磁写密度、增加存储容量以及实现突出的批量生产率, 提供了非常有效的更小、更薄的磁头。

此外, 如图 1 到 5 的清楚图示, 根据本发明的磁头在前缘 LE 不设有一个变窄的形状。因此, 节锥角能够被设置得较小, 另外, 由于表面 112 和 122 长度小, 悬空高度随提升力减小而变小, 同时, 正压力根据盘旋转速度和空气流方向而变化的节锥角范围被减小, 从而能够使其保持滑动器 1 的悬空稳定性。总结上述信息, 实现了显示出以下特性的磁头和写/读装置:

悬空高度: 8 到 12nm

15  $1.1 \times 10^{-4}$  (rad) < 节锥角  $\beta$  <  $2.2 \times 10^{-4}$  (rad)

图 15 示出了当台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$  被改变时代表滑动器位置和悬空高度  $g_1$  之间的关系的的数据。滑动器的位置由介质半径和斜角表示。曲线 L3 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.6\mu\text{m}$  时实现的特性, 曲线 L4 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.8\mu\text{m}$  时实现的特性。数据表示通过控制台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$ , 悬空高度  $g_1$  能够被控制。当高度  $h_1$  和  $h_2$  小于  $0.6\mu\text{m}$  时, 难以把悬空高度  $g_1$  保持在 25nm 或更低。当高度  $h_1$  和  $h_2$  增加时, 悬空高度  $g_1$  减小。然而, 当它们超过  $1.0\mu\text{m}$  时, 第三正压力产生部分 140 的表面 142 的后缘 TR (见图 1 到 5) 与盘状介质 4 接触。

图 16 示出了当台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$  被改变时代表滑动器位置 25 和节锥角之间的关系的的数据。滑动器的位置由介质半径和斜角表示。曲线 L5 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.6\mu\text{m}$  时实现的特性, 曲线 L6 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.8\mu\text{m}$  时实现的特性。数据表示通过控制台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$ , 节锥角能够被控制。当高度  $h_1$  和  $h_2$  小于  $0.6\mu\text{m}$  时, 难以在斜角大 (例如  $13.25^\circ$ ) 的范围内把节锥角在保持在  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更小。当高度  $h_1$  和  $h_2$  大于  $0.8\mu\text{m}$  时, 在斜角小 (例如  $0^\circ$ ) 的范围内, 节锥角变得等于或 30



小于  $1 \times 10^{-4}$  (rad), 从而增加了与前缘产生接触的危险, 并且当高度  $h_1$  和  $h_2$  超过  $1\mu\text{m}$  时, 造成接触。总结上述信息, 希望把台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$  设置在  $0.6\mu\text{m}$  到  $1.0\mu\text{m}$  的范围内。

图 17 示出了关于盘状介质的平行运动造成的悬空高度波动的数据。在图 17 中, 水平轴代表盘状介质的竖直表面运动的频率, 竖直轴代表振幅比 ( $\Delta g_1/b$ )。  $\Delta g_1$  代表悬空高度  $g_1$  的波动值,  $b$  表示盘状介质振动幅度值。曲线 L7 表示当一个具有 8mm 的长度、0.6mm 的宽度和 0.3mm 的高度的滑动器被使用时实现的特性, 曲线 L8 表示当一个具有 1.25mm 的长度、1.0mm 的宽度和 0.3mm 的高度的滑动器被使用时实现的特性。悬空高度  $g_1$  被设置在 25nm。

当滑动器 1 被小型化, 同时空气润滑膜刚度被减小时, 由于滑动器块被减小, 与盘状介质的平行振动有关的随动稳定性没有被恶化, 如图 17 所示。具有 1.25mm 或更短的长度和 1.00mm 或更窄的宽度以及 1.6mg 或更小的重量的滑动器 1 实现良好的随动稳定性, 而不受尺寸的影响。

图 18 示出了根据本发明的磁头的第二实施例的立体图, 图 19 示出了从面对介质的表面被固定的侧边看图 18 中的磁头的平视图。

在图 18 和 19 所示的第二实施例中, 面对介质的表面设有一个前平板表面 100、一个第一正压力产生部分 110、一个第二正压力产生部分 120、一个第一反压力产生部分 130、一个第三正压力产生部分 140、一个第四正压力产生部分 150 和第五正压力产生部分 160。第四正压力产生部分 150 位于第一正压力产生部分 110 之后的一个距离, 并设有一个朝向前缘 LE 的台阶面 151。第五正压力产生部分 160 位于第二正压力产生部分 120 之后的一个距离, 并设有一个朝向前缘 LE 的台阶面 161。第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 构成平板表面, 该平板表面的高度基本上等于第一正压力产生部分 110 的表面 112 和第二正压力产生部分 120 的表面 122 的高度。

图 20 示出了关于在使用图 18 和 19 所示的磁头的磁写/读装置中的标准化的滑动器长度和标准化压力之间的关系的关系的三维数据。具有如这些三维数据所指示的压力分布的磁头, 当被用在写/读装置中时, 它所实现优越性类似于图 1 到 5 所示的磁头实现的优越性。

000000

图 21 示出了根据本发明的磁头的第三实施例的立体图, 图 22 是从面对介质的表面被固定的侧边看图 21 中的磁头的平视图, 图 23 是图 22 所示的磁头的侧视图, 图 24 是图 22 所示的磁头的正视图, 图 25 是沿图 22 中的 25-25 线的截面图。

- 5 面对介质的表面包括一个前平板表面 100、一个第一和一个第二正压力产生部分 110 以及一个第一反压力产生部分 130。

前平板表面 100 开始于前缘 LE, 并连续到与空气流方向 (a) 一致的纵长方向 X 的中点。第一和第二正压力产生部分 110 和 120 具有实质上相同的高度, 并被彼此分开一个距离设置在垂直于纵长方向 X 的宽度方向 Y 的两侧, 10 它们的边缘朝向构成台阶面 111 和 121 的前缘 LE, 台阶面 111 和 121 从前平板表面 100 上升。第一和第二正压力产生部分 110 和 120 延伸到后缘 TR。结果, 第一和第二正压力产生部分 110 和 120 的表面 112 和 122 分别用作空气轴承表面。

第一反压力产生部分 130 在一个台阶中从前平板表面 100 的尾端下降并延 15 伸到后缘 TR。

转换器 2 和 3 被设置在后缘 TR, 至少是第一或第二正压力产生部分 110 和 120 中任一个的后缘 TR。在第三实施例中, 第一和第二正压力产生部分 110 和 120 中都设置有转换器 2 和 3。

前平板表面 100 从前缘 LE 延伸到接近滑动器 1 的纵长方向的中心, 并通过 20 过一个与前平板表面 100 有关的台阶连续到第一和第二正压力产生部分 110 和 120。形成在前平板表面 100 和表面 112 之间以及前平板表面 100 和表面 122 之间的台阶面的高度差被设置为一个规定的尺寸, 例如, 0.1 到 1.0 $\mu\text{m}$ 。

构成台阶面 111 和 121 的台阶高度, 表面 112 和 122 的大小、形状等连续到台阶面 111 和 122 被合适地选择, 以实现悬空高度为 25nm 或更低时要求的 25 悬空特性。

第一反压力产生部分 130 的前缘 133, 从空气流的方向 (a) 来看必须被关闭。在此情况下, 前缘 133 典型地构成一个台阶面 131。台阶面 131 的高度、形状等可以合适地选择以实现在悬空高度为 25nm 或更低时要求的悬空特性。更具体地, 台阶面 131 的高度可以被设置在约 2.5 $\mu\text{m}$ 。

30 在本实施例磁头中的转换器 2 和 3 的结构及其在写/读装置中的应用与第一



实施例的磁头的结构和应用相同。

具有上述结构的磁头在带设置具体大小的第一和第二正压力产生部分 110 和 120 的面积写/读装置中被采用时, 空气流侧的负载容量增加, 即使在 25n 或更小的一个极低悬空高度时也如此, 导致空气润滑膜刚度增加。因此, 具有低节锥角的悬空状态以一种稳定的方式被保持, 从而提高了与盘状介质表面运动有关的磁头随动稳定性。因此, 即使当悬空高度被减小到 25nm 或更小时, 也能够防止磁头和盘状介质之间在悬空高度为其最小值的滑动器后缘 TR 处的接触。

由于第一和第二正压力产生部分 110 和 120 具有实质上相同高度且被分开一个距离设置在宽度方向 Y 的两侧, 同样实现了卷轴角的稳定性。

此外, 具有上述新的空气轴承表面结构, 节锥角能够被设置在  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更小, 并且即使在悬空高度为 25n 或更小时, 也能够防止滑动器 1 后缘 TR 和盘状介质之间的接触。

此外, 上述每一个表面能够通过面对介质的滑动器 1 的表面上采取高精度图案形成技术如干燥蚀刻的整体加工形成。

因此, 根据本发明, 为实现高写密度、增加存储容量和实现突出的批量生产率, 提供了非常有效的更小、更薄的磁头。

如参考图 17 已经进行的解释, 当滑动器 1 被小型化, 同时空气润滑膜刚度减小, 由于滑动器块减小, 与盘状介质平行震动有关的随动稳定性没有恶化。

此外, 由于空气轴承等高线在纵长方向 X 上关于滑动器 1 的中央轴对称形成, 并且空气轴承面能够通过利用微加工技术如干燥蚀刻的整体加工形成而无须执行机械加工, 易于进行批量产生中的尺寸管理, 从而实现高度的批量出生率。

在此实施例中, 同样, 实现特征:

悬空高度  $g1$ : 8 到 12nm

$1.0 \times 10^{-4}$  (rad) < 节锥角  $\beta$  <  $1.8 \times 10^{-4}$  (rad)

接下来, 参考测量的数据, 使用本发明磁头的写/读装置实现的优越性被解释。磁头 6、磁头悬架 5 和盘状介质 4 的说明与图 1 到 5 所示的磁头中的相同, 如下所示:



000000

(滑动器 1)

长度: 0.8mm

宽度: 0.6mm

高度: 0.3mm

5 重量: 0.6mg

(磁头悬架 5)

负载力: 1.0gf

弹性率: 1.8gf/mm

负载点: 滑动器 1 的中心区域

10 (盘状介质 4)

盘直径: 2.5 英寸

盘旋转速度: 7200rpm

图 26 示出了关于标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系的数据。水平轴代表的标准化滑动器长度表示为从前缘 LE 沿纵长方向的位置  $x$  和滑动器 1 全部长度  $L$  的比 ( $x/L$ )。竖直轴代表的标准化压力由公式 ( $P/P_a-1$ ) 确定,  $P$  为施加到滑动器 1 的压力,  $P_a$  为大气压力。曲线 L9 代表在宽度  $Y$  方向上离滑动器 1 的一端缘的距离为  $y=0.3mm$  位置处达到的压力分布, 曲线 L11 代表在距离  $y=0.1mm$  位置处实现的压力分布, 曲线 L10 代表在距离  $y=0.30mm$  位置处测量的压力分布。

20 图 27 示出了计算机模拟数据, 三维地示出了图 26 中所示的标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系。

在本实施例的磁头中, 前平板表面 100 从前缘 LE 开始, 连续到沿纵长方向  $X$  的一个中点, 纵长方向与空气流方向 ( $a$ ) 相同。第一和第二正压力产生部分 110 和 120 具有实质上相同的高度, 并被彼此分开一个距离固定在垂直于纵长方向  $X$  延伸的宽度方向  $Y$  的两侧, 同时它们的朝向前缘 LE 的边缘构成从前平板表面 100 上升的台阶面 111 和 121。因此, 如图 26 和 27 的清楚图示, 当盘状介质 4 被旋转时, 沿空气流方向( $a$ ), 前平板表面 100 产生一个正提升动态压力, 台阶面 111 和 121 产生正提升动态压力, 第一反压力产生部分 130 产生一个反压力。实现这种压力分布的空气轴承面的结构是新的, 即使在悬空高度为 25nm 或更小时, 也能够防止与盘状介质的接触。



此外, 由于在前缘 LE 没有变窄, 节锥角能够被设置得较小。此外, 由于滑动器 1 的长度小, 能够保持提升力较小, 以减小悬空高度, 同时, 与盘旋转速度有关的压力分布的变化和空气流方向 (a) 的变化能够被减小, 以保持滑动器 1 的悬空高度。

5 图 28 示出了表示滑动器位置和悬空高度之间的关系的数据。滑动器的位置由介质半径和斜角表示。斜角  $\theta$  的一个解释已经参考图 9 给出。图 28 示出了在该斜角  $\theta$  下盘状介质 4 的旋转半径。如图 28 所示, 通过具有上述新的空气轴承面结构的磁头, 在一个较宽的斜角范围内 ( $-4.3$  到  $13.25^\circ$ ) 确保了一个非常小的悬空高度  $g_l$ , 约  $10\text{mm}$ 。而且, 在一个较宽的斜角范围内 ( $-4.3$  到  $13.25^\circ$ )  
10 实现了抗干扰和振动的高度悬空稳定性。

图 29 示出了表示滑动器位置和节锥角  $\beta$  之间的关系的数据。滑动器的位置由介质半径和斜角表示。如图 29 所示, 通过根据本发明的具有新的空气轴承面结构的磁头, 节锥角  $\beta$  能够被设置在  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更低, 并且即使在  $25\text{nm}$  或更低的悬空高度时也能够避免滑动器 1 的后缘 TR 与盘状介质 4 的接触。

15 图 30 示出了当台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$  被改变时代表滑动器 1 的位置和悬空高度  $g_l$  之间的关系的数据。滑动器的位置由介质半径和斜角表示。曲线 L12 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.6\mu\text{m}$  时实现的特性, 曲线 L13 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.8\mu\text{m}$  时实现的特性。数据表示通过控制台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$ , 悬空高度  $g_l$  能够被控制。当高度  $h_1$  和  $h_2$  小于  
20  $0.6\mu\text{m}$  时, 难以把悬空高度  $g_l$  保持在  $25\text{nm}$  或更低。当高度  $h_1$  和  $h_2$  增加时, 悬空高度  $g_l$  减小。然而, 当它们超过  $1.0\mu\text{m}$  时, 后缘 TR 更易于与盘状介质 4 接触。

图 31 示出了当台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$  被改变时代表滑动器位置和节锥角  $\beta$  之间的关系的数据。滑动器的位置由介质半径和斜角表示。曲线  
25 L14 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.6\mu\text{m}$  时实现的特性, 曲线 L15 代表当高度  $h_1$  和  $h_2$  被设置在  $0.8\mu\text{m}$  时实现的特性。数据表示通过控制台阶面 111 和 121 的高度  $h_1$  和  $h_2$ , 节锥角  $\beta$  能够被控制。当高度  $h_1$  和  $h_2$  小于  $0.6\mu\text{m}$  时, 难以在斜角  $\theta$  大 (例如  $13.25^\circ$ ) 的范围内把节锥角  $\beta$  保持在  $3 \times 10^{-4}$  (rad) 或更小。当高度  $h_1$  和  $h_2$  大于  $0.8\mu\text{m}$  时, 在斜角  $\theta$  小 (例如  $0^\circ$ ) 的范围内, 节锥角  $\beta$  变  
30 得等于或小于  $1 \times 10^{-4}$  (rad), 从而增加了前缘产生接触的危险, 并且当高度



h1 和 h2 超过  $1\mu\text{m}$  时, 造成接触。

总结上述图 30 和 31 表示的信息, 希望把台阶面 111 和 121 的高度 h1 和 h2 设置在  $0.6\mu\text{m}$  到  $1.0\mu\text{m}$  的范围内。

本发明不局限于上面给出的具体例子。例如, 在图 21 中, 一个第三正压力产生部分可以被设置在接近滑动器 1 后缘 TR 的中央部分, 如图 1 到 5 所示, 以调节转换器 2 和 3。

参考图 32 和 33, 示出了第四实施例, 面对介质的表面设有一个前平板表面 100、一个第一反压力产生部分 130、一个第一正压力产生部分 110、一个第三正压力产生部分 140、一个第四正压力产生部分 150、一个第五正压力产生部分 160、一个第二反压力产生部分 170 和第三反压力产生部分 180。第一正压力产生部分 110 设在从与空气流方向 (a) 相同的纵长方向 X 的中心朝向前缘 LE 的一个区域中。从空气流方向 (a) 来看, 第二和第三反压力产生部分 170 和 180 被设在第一正压力产生部分 110 尾部的位置, 并在垂直于纵长方向 X 延伸的宽度方向 Y 上彼此分开一个距离。

第四正压力产生部分 150 位于第二反压力产生部分 170 之后, 第五正压力产生部分 160 位于第三反压力产生部分 180 之后, 在宽度方向 Y 上隔开一个距离。第一反压力产生部分 130 设在被第一正压力产生部分 110、第二和第三反压力产生部分 170 和 180、以及第四和第五正压力产生部分 150 和 160 封闭的一个区域内。

在第四实施例中, 定位第一和第二正压力产生部分, 以在宽度方向 Y 上越过滑动器 1, 并在宽度方向 Y 上被连续设置以构成一个单个的正压力产生部分 110。第一正压力产生部分 110 设有一个台阶面 111。第四和第五正压力产生部分 150 和 160 分别设有台阶面 151 和 161。第一正压力产生部分 110、第二和第三反压力产生部分 170 和 180、第四和第五正压力产生部分 150 和 160 和第一反压力产生部分 130 被相对于纵长方向 X 上的中央轴对称地定位。

构成台阶面 111、151 和 161 的台阶的高度差 h4 和 h5 ( $=h4$ ) 以及台阶部分的大小和形状被适当地选择, 以实现悬空高度为 25mm 或更小时要求的悬空特性。更具体地, 台阶面 111、151 和 161 的高度差 h4 和 h5 被设置在 0.3 到  $1.0\mu\text{m}$  的范围内。

在第二和第三反压力产生部分 170 和 180 以及第一反压力产生部分 130,

000007

从空气流方向 (a) 看的前缘被从第一正压力产生部分 110 下降的一个台阶 113 封闭。

把第一正压力产生部分 110、第二和第三反压力产生部分 170 和 180、第四和第五正压力产生部分 150 和 160 以及第一反压力产生部分 130 形成台阶，实现的优越性在于：上述要求的随动稳定性被实现，以及它们能够通过利用高精密度图案形成技术如干燥蚀刻的整体加工方法形成。

第一正压力产生部分 110 被在宽度方向 Y 上定位，从纵长方向的滑动器 1 的中央朝向前缘 LE。

第二和第三反压力产生部分 170 和 180 在一个高度差为  $h_5$  的台阶中从第一正压力产生部分 110 的表面 112 下降。在第四实施例中，在第一正压力产生部分 110 的表面 112 和第二台阶部分 150 的表面 152 之间和第一正压力产生部分 110 的表面 112 和第三台阶部分 160 的表面 162 之间，形成表面 172 和 182，从而从前缘 LE 侧开始向中央部分变窄，并且从中央部分开始向后缘 TR 侧变宽。

第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 在一个台阶中分别从具有高度差  $h_5$  的表面 172 和 182 上升，并在宽度方向 Y 上彼此分开一个距离，宽度方向 Y 从纵长方向 X 上的滑动器 1 中央朝向后缘 TR。

第一反压力产生部分 130 低于构成第二和第三反压力产生部分 170 和 180 的锯齿部分的表面 172 和 182。

除了后缘 TR 侧，第一反压力产生部分 130 的表面被表面 112、152 和 162 以及 172 和 182 在其边缘封闭。第一反压力产生部分 130 的表面和表面 112、152 和 162 之间的高度差接近 1 到  $5\mu\text{m}$ 。第一反压力产生部分 130 的表面用于构成一个基面，且所有的其它表面形成在第一反压力产生部分 130 上。此外，构成与第一反压力产生部分 130 的表面相同高度的平坦表面区域形成在滑动器 1 的宽度方向 Y 的两侧，且形成在第一正压力产生部分 110 的表面 172 和表面 112 之间和第一正压力产生部分 110 的表面 182 和表面 112 之间的台阶用作横向加压空气轴承台阶面。

此外，第四实施例包括第三正压力产生部分 140 的一个表面 142。第三正压力产生部分 140 朝向滑动器 1 后缘 TR 设在宽度方向 Y 上，接近滑动器 1 的

90-00-27

中央, 从第一反压力产生部分 130 的基面上升一个高度差。其上升前缘构成一个台阶面 141。第三正压力产生部分 140 的表面 142 具有与第一正压力产生部分 110 的表面 112、第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 实质上相同的高度。电磁转换器 2 和 3 被安装在后缘 TR 的  
5 第三正压力产生部分 140 的中央。

在第四实施例中, 前平板表面 100 被设在滑动器 1 的前缘和第一正压力产生部分 110 的表面 112 之间。前平板表面 100 从第一反压力产生部分 130 在一个台阶中上升一个高度差  $h_6$ , 以构成具有与反压力产生部分 170 和 180 相同高度的一个平板表面。希望形成前平板表面 100, 从而它从第一正压力产生部  
10 分 110 的表面 112 向前缘 LE 变窄。

确定每一个表面 100、112、130、142、152、162、172 和 182 的端缘可以是直线、曲线或二者的结合。

接下来, 参考测量的数据, 解释使用本发明的磁头的写/读装置实现的优越性。磁头 6、磁头悬架 5 和盘状介质 4 的规格如下。

15 (滑动器 1)

长度: 1.25mm

宽度: 1.0mm

高度: 0.3mm

重量: 1.6mg

20 (磁头悬架 5)

负载力: 0.5gf

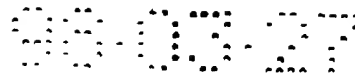
负载点: 偏心  $d=100\mu\text{m}$

(盘状介质 4)

盘旋转速度: 7200rpm

25 盘直径: 2.5 英寸

图 34 示出了计算机模拟数据, 三维地示出了第四实施例中的磁头所实现的标准化滑动器长度、宽度和压力之间的关系。图 35 示出了关于标准化滑动器长度和标准化压力之间的关系的的数据。水平轴代表的标准化滑动器长度表示为从前缘 LE 沿纵长方向 X 的位置  $x$  和滑动器 1 全部长度  $L$  的比 ( $x/L$ )。标准  
30 化滑动器宽度表示为沿宽度方向 Y 的位置  $y$  和滑动器 1 全部长度  $L$  的比



( $y/L$ )。竖直轴代表的标准化压力由公式  $(P - P_a) / P_a$  确定,  $P$  为施加到滑动器 1 的压力,  $P_a$  为大气压力。曲线 L12 代表在标准化宽度 ( $y/L$ ) 为 0.5 (几乎在宽度方向的中心) 的位置实现的压力分布特征, 曲线 L11 代表在标准化宽度 ( $y/L$ ) 为 0.08 的位置实现的压力分布。

5 在第四实施例的磁头中, 面对介质的表面设有一个第一正压力产生部分 110、一个第一反压力产生部分 130、一个第四正压力产生部分 150 和 160。第一正压力产生部分 110 设在从与空气流方向 ( $a$ ) 相同的纵长方向  $X$  的中心朝向前缘 LE 的一个区域中。从空气流方向 ( $a$ ) 来看, 第二和第三反压力产生部分 170 和 180 被设在第一正压力产生部分 110 尾部的位置, 并在垂直于纵  
10 长方向  $X$  延伸的宽度方向  $Y$  上彼此分开一个距离。

第四和第五正压力产生部分 150 和 160 被分别设在两个反压力产生部分 170 和 180 的尾部, 在宽度方向  $Y$  上彼此分开。

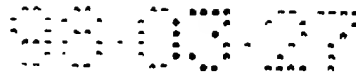
结果, 从图 34 和 35 可明显看出, 当盘 4 被旋转时, 第一正压力产生部分 110 在磁头 6 的宽度方向  $Y$  中心附近沿空气流方向 ( $a$ ) 产生第一提升动态压  
15 力 (见曲线 L12)。

在磁头 6 的宽度方向  $Y$  的两个末端, 后缘 TR 的第四和第五正压力产生部分 150 和 160 产生第二提升动态压力, 反压力产生部分 170 和 180 产生从第二提升动态压力朝向前缘的反压力 (见曲线 L11)。

此外, 在由第一正压力产生部分 110, 第四和第五正压力产生部分 150 和  
20 160, 以及反压力产生部分 170 和 180 封闭的区域中, 由第一反压力产生部分 130 产生反压力 (见曲线 L12)。

实现这种压力分布的结构是新的, 且即使在悬空距离 25nm 或更小时, 其为防止磁头与盘状介质接触奠定了基础。

此外, 第四实施例中的结构包括第三正压力产生部分 140 的表面 142。第  
25 三正压力产生部分 140 的表面 142 具有与第一正压力产生部分 110 的表面 112 和第四和第五正压力产生部分 150 和 160 的表面 152 和 162 实质上相同的高度, 并在磁头 6 的宽度方向  $Y$  的中央附近产生一个正压力 (见曲线 L12)。由于正压力, 空气润滑膜刚度在后缘 TR 处增加, 从而即使在悬空高度为 25nm 或更小时使其能够更可靠地防止磁头和盘状介质之间的接触。由于转换器 2 和  
30 3 被固定在第三正压力产生部分 140 的表面 142 上的后缘 TR 的中央, 通过第



三正压力产生部分 140 实现了空气润滑膜刚度的增加, 结果是防止了接触, 从而可靠地保护转换器 2 和 3 不被破坏和毁坏。

在第四实施例中, 前平板表面 100 被设在滑动器 1 的前缘 LE 和第一正压力产生部分 110 的表面 112 之间。前平板表面 100 在一个台阶中从第一反压力产生部分 130 上升一个高度差  $h_6$ , 以构成一个与台阶部分 170 和 180 高度相同的平板表面。因此, 空气润滑膜刚度朝向前缘 LE 增加。特别是, 通过形成前平板表面 100, 从而从第一正压力产生部分 110 的表面 112 向前缘 LE 变窄, 由于在前平板表面 100 实现的空气轴承效果, 当该结构在写/读装置中被采用时, 能够实现小节锥角  $\beta$ , 并且能够盘状介质的整个表面上实现节锥角  $\beta$  的波动减小的悬空特性。

此外, 在第四实施例中, 反压力产生部分 170 和 180 形成在第一正压力产生部分 110 的表面 112 和第四和第五正压力产生部分 150 和 160 的表面 152 和 162 之间, 使得从前缘 LE 侧开始向中央部分变窄, 并且从中央部分开始向后缘 TR 侧变宽。通过这种结构, 改善了辊特性。此外, 由于构成第一正压力产生部分 110 的表面 112、第四正压力产生部分 150 和表面 152 和第五正压力产生部分 160 和表面 162, 使得在空气流方向 (a) 上朝向前缘具有两级台阶面。

图 36 示出了代表滑动器位置和悬空高度之间的关系的数据。水平轴代表与斜角  $\theta$  具有对应关系的盘状介质 4 的旋转半径。曲线 L21 代表通过使用图 32 和 33 所示的本发明第四实施例中的磁头实现的特性, 曲线 L22 代表通过使用滑动器长度 L、宽度 W 和厚度分别为 1.25mm、1.0mm 和 0.3mm 的具有两个台阶的规则正压力/反压力结合型磁头 (现有技术中的一个例子) 实现的特性, 如图 36 所示, 当现有技术例子中的磁头被使用时, -4.3 到 13.25° 斜角范围内实现的悬空高度最小值接近 24nm, 并且悬空高度在 24 到 29nm 范围内波动。相反, 通过本发明的磁头, 在一个 -4.3 到 13.25° 的宽斜角范围上采用接近 22nm 的非常小的悬空高度。此外, 在 -4.3 到 13.25° 的宽斜角范围上仅观测到悬空高度接近 1nm 的波动, 实现了抗干扰和振动的高度悬空稳定性。

图 37 示出了代表滑动器位置和节锥角  $\beta$  之间的关系的数据。曲线 L31 代表通过使用本发明第四实施例中的磁头实现的特性, 曲线 L32 代表通过当具有两个台阶的规则正压力/反压力结合型磁头 (现有技术中的一个例子) 被使用时实现的特性。如图 37 中曲线 L32 清楚所示, 在现有技术例子的情况下, 在 -4.3



到  $13.25^\circ$  斜角范围上, 节锥角  $\beta$  在  $0.9 \times 10^{-4}$  (rad) 到  $1.7 \times 10^{-4}$  (rad) 范围内波动。

相反, 使用本发明的磁头, 如曲线 L31 清楚所示, 在  $-4.3$  到  $13.25^\circ$  的宽斜角上, 节锥角  $\beta$  保持在或小于  $1.5 \times 10^{-4}$  (rad), 显示出近似的稳定性。而且, 如图 32 和 33 清楚所示, 在本发明的磁头中的前缘 LE 没有变尖, 并且使节锥角  $\beta$  最小。

因此, 通过使用本发明第四实施例中的磁头, 能够在盘状介质 4 的全部访问区域实现高度稳定的空气润滑膜刚度, 从而使其能够即使在悬空高度为 25nm 或更小时防止滑动器 1 的后缘 TR 和盘状介质 4 之间的接触。

图 38 示出了关于盘状介质旋转速率 (rpm) 和悬空高度之间的关系的数据。在图 38 中, 水平轴代表盘状介质的盘旋转速度 (rpm), 竖直轴代表悬空高度 (nm)。曲线 L41 代表通过使用图 32 和 33 所示的本发明第四实施例中的磁头实现的特性, 曲线 L42 代表当具有两个台阶的普通正压力/反压力结合型磁头 (现有技术的一个例子) 被使用时实现的特性。斜角  $\theta$  接近  $0^\circ$ 。

图 38 示出了当现有技术的例子中的磁头被使用时, 当盘状介质的盘旋转速度增加时悬空高度保持增加, 如曲线 L42 所示, 甚至当盘状介质的盘旋转速度增加超过 10,000rpm 时, 悬空高度被倾斜以继续增加。

相反, 当本发明第四实施例中的磁头被使用时, 随着盘状介质的盘旋转速度的增加, 悬空高度变得更加稳定。图 38 中的数据表示当盘状介质的盘旋转速度超过约 6000rpm 时, 悬空高度在 24nm 变得稳定。因此, 根据本发明的磁头显示出起动特性, 从而悬空高度早于进入恒定的操作状态之前就变成稳定。

参考示出第五实施例的图 39 和 40, 根据本发明的磁头包括一个滑动器 1 和转换器 2 和 3。转换器 2 和 3 构成两个元件, 即, 写元件和读元件。面对介质的表面在宽度方向 Y 上在滑动器 1 的中部设有两个分开的正压力产生部分 110 和 120。第一正压力产生部分 110 设有一个台阶面 111 和一个表面 112, 第二正压力产生部分 120 设有一个台阶面 121 和一个表面 122。其它结构特征与第四实施例中所示的磁头 (见图 32 和 33) 的特征相同。

图 41 示出了计算机模拟数据, 三维地示出了当该磁头被使用时所实现的标准化的滑动器长度 ( $x/L$ ) 和标准化宽度 ( $y/L$ ), 和标准化压力之间的关系。

图 42 示出了关于当该磁头被使用时标准化滑动器长度 ( $x/L$ ) 和标准化压力



000000

之间的关系的数据。用于驱动磁头 6、磁头悬架 5 和盘状介质 4 的各种状况如前面解释。水平轴代表的标准化滑动器长度 ( $x/L$ ) 和竖直轴代表的标准化压力 ( $P/\text{Pa}$ ) /Pa 已经参考图 35 作出了解释。曲线 L51 代表在某一位置实现的压力分布特征, 此位置表示为在宽度方向 Y 上距滑动器 1 的一端缘的标准化宽度 ( $y/L$ ) = 0.5 (几乎在宽度方向的中心), 曲线 L52 代表在表示为标准化宽度 ( $y/L$ ) = 0.075 的位置实现的压力分布。

图 41 和 42 所示的压力分布不同于图 34 和 35 所示的压力分布, 在图 34 和 35 所示的压力分布中, 由于第一和第二正压力产生部分 110 和 120 之间的区域由前平板表面 100 构成, 在滑动器 1 的中央区域没有产生朝向空气流侧(见曲线 L51) 的明显正压力。而在在图 41 和 42 所示的压力分布中, 第一和第二正压力产生部分 110 和 120 在滑动器 1 的宽度方向 Y 上的两侧产生大正压力(见曲线 L52)。

如图 41 和 42 清楚地图示, 当盘状介质 4 被旋转时, 第一和第二正压力产生部分 110 和 120 在磁头 6 的宽度方向 Y 两侧沿空气流方向 (a) 产生第一提升动态压力 (见曲线 L52), 第四和第五正压力产生部分 150 和 160 朝向后缘 TR 产生一个第二提升动态压力, 第二和第三反压力产生部分 170 和 180 从第二提升动态压力朝向空气流方向侧产生反压力 (见特性曲线 L52)。此外, 在第一和第二正压力产生部分 110 和 120、第四和第五正压力产生部分 150 和 160 以及第二和第三反压力产生部分 170 和 180 封闭的区域内, 第一反压力产生部分 130 产生一个反压力 (见曲线 L51)。实现这种压力分布的结构是新的, 并且它构成即使在悬空高度为 25nm 或更小时防止磁头和盘状介质之间接触的基础。

此外, 由于第三正压力产生部分 140 的表面朝向后缘 TR 设置, 正压力产生在宽度方向 Y 上接近磁头 6 的中央附近 (见曲线 L51)。这就增加了后缘 TR 的空气润滑膜刚度, 从而防止了在悬空高度为 25nm 或更小时磁头和盘状介质之间的接触, 甚至更可靠。由于转换器 2 和 3 在后缘 TR 被安装在第三正压力产生部分 140 的表面 142 的中央, 实现了空气润滑膜刚度的增加并导致有效地防止接触, 可靠地保护转换器 2 和 3 不被破坏和毁坏。

此外, 前平板表面 100 被朝向前缘 LE 设置, 前缘 LE 在一个台阶中从第一反压力产生部分 130 上升该高度差, 构成与反压力产生部分 170 和 180 高度相



同的一个平板表面。因此，朝向前缘 LE，空气润滑膜刚度增加。由于前平板表面 100 形成，从而从分别从第一和第二正压力产生部分 110 和 120 的表面 112 和 122 向前缘 LE 变窄，由于通过前平板表面 100 实现的空气轴承效果，当该结构在写/读装置中被采用时，一个小节锥角  $\beta$  能够被实现，并且能够在盘状介质的整个表面上实现节锥角  $\beta$  波动减小的悬空特性。

此外，反压力产生部分 170 和 180 被形成在第一和第二正压力产生部分 110 和 120 的表面 112 和 122 和第四和第五正压力产生部分 150 和 160 的表面 152 和 162 之间，从而从前缘 LE 侧开始朝向中央部分变窄，并且从中央部分开始朝向后缘 TR 侧变宽。通过这种结构，辊特性被提高。此外，第一正压力产生部分 110 的表面 112、第二正压力产生部分 120 和表面 122、第四正压力产生部分的表面 152 和第五正压力产生部分的表面 162 被构成，以具有朝向空气流方向 (a) 的两级台阶面。

参考示出第六实施例的图 43 和 44，根据本发明的磁头包括滑动器 1 和转换器 2 和 3。转换器 2 和 3 构成两个元件，即，一个写元件和一个读元件。在此例的磁头中，第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 延伸到滑动器 1 的后缘 TR 设置，转换器 2 和 3 至少安装在第四正压力产生部分 150 的表面 152 或第五正压力产生部分 160 的表面 162 上。

第六实施例的磁头中的转换器 2 和 3 的结构及其到写/读装置的应用与第四实施例所示磁头的相同 (见图 32 和 33)。

接下来，参考测量的数据，使用图 43 和 44 所示第六实施例中的磁头的写/读装置实现的优越性被解释。磁头 6、磁头悬架 5 和盘状介质 4 的说明如下。

(滑动器 1)

长度: 1.25mm

宽度: 1.0mm

25 高度: 0.3mm

重量: 1.6mg

(磁头悬架 5)

负载力: 0.5gf

负载点: 偏心  $d=100\mu\text{m}$

30 (盘状介质 4)

000000

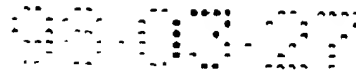
盘旋转速度: 7200rpm

图 45 示出了计算机模拟数据, 三维地示出了当该磁头被使用时标准化滑动器长度 ( $x/L$ ) 和标准化宽度 ( $y/L$ )、和标准化压力之间的关系, 图 46 示出了当该磁头被使用时关于标准化滑动器长度 ( $x/L$ ) 和标准化压力之间的关系的数据。水平轴代表的标准化滑动器长度 ( $x/L$ ) 和竖直轴代表的标准化压力 ( $P-Pa$ )/Pa 已经参考图 35 被解释。在图 46 中, 曲线 L61 代表在表示为宽度方向 Y 上离滑动器 1 一端缘的标准化宽度 ( $y/L$ ) 为 0.5 (几乎在宽度方向的中心) 的位置实现的压力分布, 曲线 L62 代表在表示为标准化宽度 ( $y/L$ ) = 0.08 的位置实现的压力分布。

图 45 和 46 所示的压力分布不同于图 41 和 42 所示的压力分布, 在图 41 和 42 所示的压力分布中, 由于第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 在前缘 LE 向滑动器 1 的后缘 TR 延伸设置, 第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 产生的正压力连续到后缘 TR 上 (见曲线 L62), 而由于在后缘 TR 没有第三正压力产生部分表面, 因此在宽度方向 Y 上接近磁头 6 的中央部分没有产生归因于第三正压力产生部分的正压力 (见曲线 L61)。

如图 45 和 46 清楚地图示, 当盘状介质 4 被旋转时, 第一和第二正压力产生部分 110 和 120 在磁头 6 的宽度方向 Y 两侧沿空气流方向 (a) 产生第一提升动态压力 (见曲线 L62), 第四和第五正压力产生部分 150 和 160 朝向后缘 TR 产生一个第二提升动态压力, 第二和第三反压力产生部分 170 和 180 从第二提升动态压力朝向空气流方向侧产生反压力 (见特性曲线 L62)。此外, 在第一和第二正压力产生部分 110 和 120、第四和第五正压力产生部分 150 和 160 以及第二和第三反压力产生部分 170 和 180 封闭的区域内, 第一反压力产生部分 130 产生一个反压力 (见曲线 L61)。实现这种压力分布的结构是新的, 并且它构成即使在悬空高度为 25nm 或更小时防止磁头和盘状介质之间接触的基础。

当在后缘 TR 在宽度方向 Y 上的磁头的中央部分附近没有产生正压力的部分时, 由于第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 在磁头 6 的宽度方向 Y 两侧向滑动器 1 的后缘 TR 延伸设置, 通过第四正压力产生部分 150 的表面 152 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 实现



连续到后缘 TR 上的大正压力（见曲线 L62），从而实现空气润滑膜刚度的增加并导致有效地防止接触，以可靠地保护设在至少第四正压力产生部分 150 的表面 152 或第五正压力产生部分 160 的表面 162 上的转换器 2 和 3 不被破坏或毁坏。

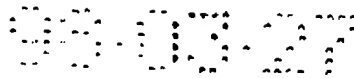
- 5 前平板表面 100 朝向前缘 LE 设置。此前平板表面 100 实现的优越性在于：一个小节锥角  $\beta$  被实现，和在盘状介质的整个表面上实现节锥角  $\beta$  波动减小的悬空特性，这在前面已经被解释。

此外，反压力产生部分 170 和 180 被形成在第一正压力产生部分 110 的表面 112 和第四正压力产生部分 150 的表面 152 之间和第一正压力产生部分 110 10 的表面 112 和第五正压力产生部分 160 的表面 162 之间，从而从前缘 LE 侧开始朝向中央部分变窄。这种结构实的优越性也已经被解释。

参考示出第七实施例的图 47 和 48，根据本发明的磁头包括滑动器 1 和转换器 2 和 3。转换器 2 和 3 构成两个元件，即，读/写元件。在本发明的该磁头中，第一和第二正压力产生部分被定向，在宽度方向 Y 上穿过滑动器 1，以构成一单个正压力产生部分 110。其它结构特征与图 43 和 44 所示实施例的特征 15 相同。

图 49 示出了计算机模拟数据，三维地示出了当该磁头被使用时标准化滑动器长度（ $x/L$ ）和标准化宽度（ $y/L$ ）、和标准化压力之间的关系，图 50 示出了当该磁头被使用时关于标准化滑动器长度（ $x/L$ ）和标准化压力之间的关系 20 的数据。驱动磁头 6、磁头悬架 5 和盘状介质 4 的各种情况已经在前面被解释。水平轴代表的标准化滑动器长度（ $x/L$ ）和竖直轴代表的标准化压力（ $P-Pa$ ）/Pa 已经参考图 35 被解释。曲线 L71 代表在表示为宽度方向 Y 上离滑动器 1 一端缘的标准化宽度（ $y/L$ ）为 0.5（几乎在宽度方向的中心）的位置实现的压力分布，曲线 L72 代表在表示为标准化宽度（ $y/L$ ）=0.08 的位置实现的 25 压力分布。

图 49 和 50 所示的压力分布不同于图 45 和 46 所示的压力分布，在图 45 和 46 所示的压力分布中，由于第一正压力产生部分 110 被定向为在宽度方向 Y 上朝向前缘 LE 穿过滑动器 1，当盘状介质 4 被旋转时，第一正压力产生部分 110 在宽度方向 Y 上的磁头 6 的中央部分附近沿空气流方向（a）产生一个 30 第一提升动态压力（见曲线 L71）。不同的是，如曲线 L71 和 L72 清楚地图



示, 类似于图 46 中的压力分布的特征被实现, 从而实现类似的优越性。

图 51 的数据示出了当参考实施例 5 到 7 公开的磁头被使用时斜角 $\theta$ 和悬空高度之间的关系的数据。关于斜角 $\theta$ 的一个解释已经参考图 9 给出。在图 51 中, 水平轴代表与斜角 $\theta$ 具有一个对应关系的盘状介质 4 的旋转半径。

- 5 如图 51 中的数据所示, 通过使用根据本发明参考实施例 5 到 7 公开的任何磁头, 在 $-4.3$  到  $13.25^\circ$  的宽斜角范围上采用约  $22\text{nm}$  的非常小的悬空高度。此外, 在 $-4.3$  到  $13.25^\circ$  的斜角范围上, 悬空高度波动被保持在约  $1\text{nm}$ , 从而实现抗干扰个振动的高度悬空稳定性。

- 图 52 的数据示出了通过使用参考实施例 5 到 7 公开的磁头实现的斜角 $\theta$ 和  
10 节锥角 $\beta$ 之间的关系的数据。如数据所示, 通过根据本发明参考实施例 5 到 7 公开的所有磁头, 在 $-4.3$  到  $13.25^\circ$  的宽斜角范围上, 节锥角 $\beta$ 被保持在  $1.5 \times 10^{-4}$  (rad)。特别是, 通过参考实施例 7 公开的磁头, 在 $-4.3$  到  $13.25^\circ$  的宽斜角范围上, 一个约  $1 \times 10^{-4}$  (rad) 的稳定节锥角 $\beta$ 被实现。

- 图 53 的数据示出了通过使用参考实施例 5 到 7 公开的磁头实现的盘状介  
15 质 4 的盘旋转速度 (rpm) 和悬空高度之间的关系的数据。在图 53 中, 水平轴代表盘旋转速度 (rpm), 竖直轴代表悬空高度 (nm)。斜角 $\theta$  约为  $0^\circ$ 。

- 图 53 示出了通过使用根据本发明参考实施例 5 到 7 公开的磁头, 当盘状  
介质旋转速度增加时悬空高度变得稳定。根据图 53 中的数据, 当盘状介质旋  
转速度超过约  $6000\text{rpm}$  时, 在悬空高度约  $22\text{nm}$  时悬空高度变得稳定。因此,  
20 根据本发明的磁头实现起动特性, 从而在进入稳定操作状态之前悬空高度被稳  
定化。

如前面所解释的, 通过根据本发明的磁头, 下面的优越性被实现:

- (a) 提供一个非常有效, 对于实现较高密度磁写和增加存储容量的一个  
磁头。特别是, 提供了与具有高度表面精确度的盘状介质结合的磁头, 它非常  
25 有效地实现了较高写密度和增加存储容量。

(b) 提供了设有一个空气轴承面的磁头, 该磁头具有一个新结构。

(c) 提供了即使在悬空高度为  $25\text{nm}$  或更小时能够防止与盘状介质接触的  
磁头。

- (d) 提供了即使在悬空高度为  $25\text{nm}$  或更小时能够实现抗干扰和震动的  
30 高度悬空稳定性的磁头。

00-03-27

( e ) 提供一种磁头, 当该磁头被用在写/读装置中时, 在悬空操作期间通过该磁头节锥角能够被设置在  $3 \times 10^{-4}$  ( rad ) .

( f ) 提供了一种实现突出的批量生产率的更小、更薄的磁头。

( g ) 提供一种可以通过采取高精密度图案形成技术如干燥蚀刻的整体加工实现的磁头。

说明书附图

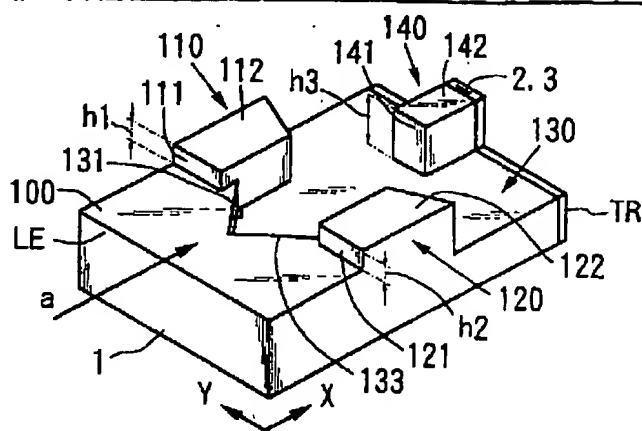


图 1

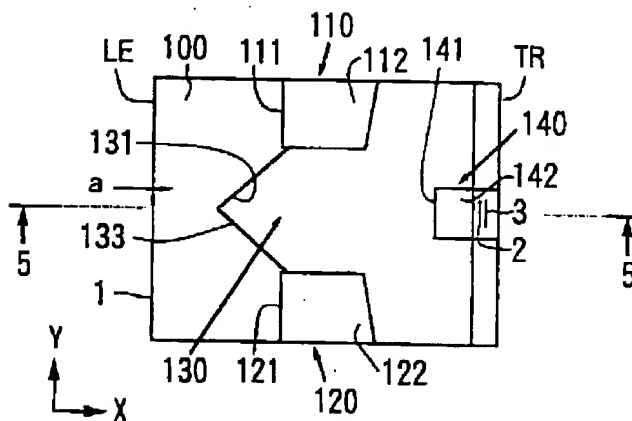


图 2

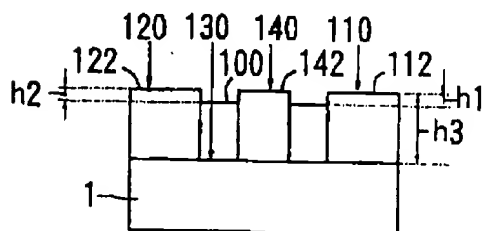


图 3

FIG. 1

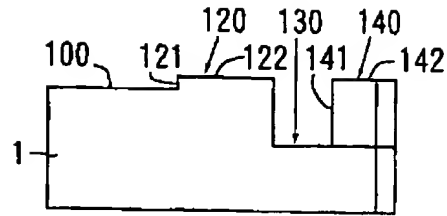


图 4

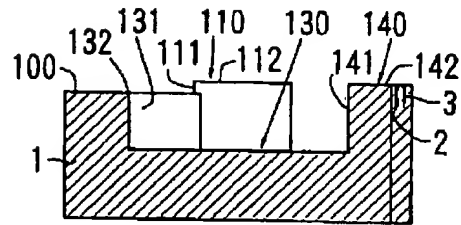


图 5



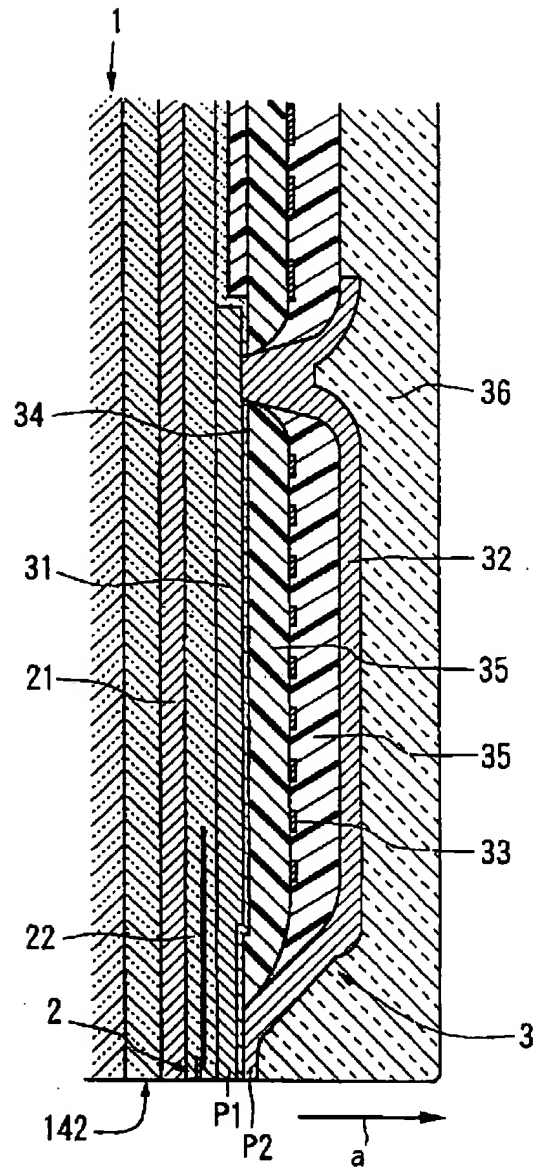


图 6

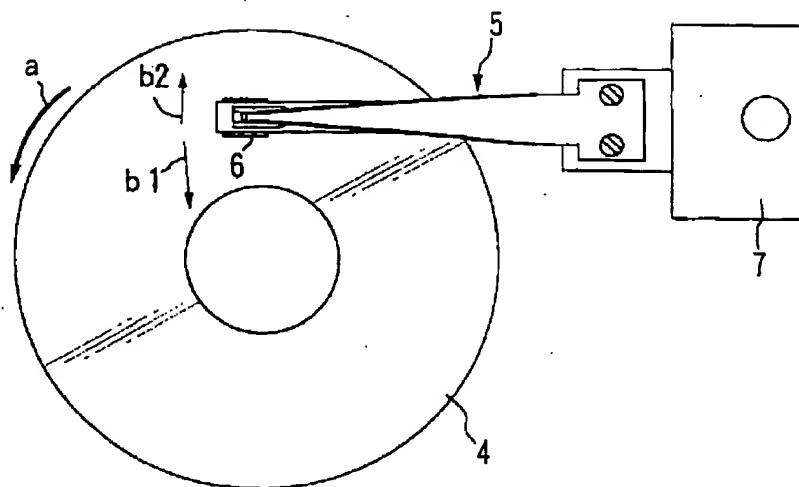


图 7

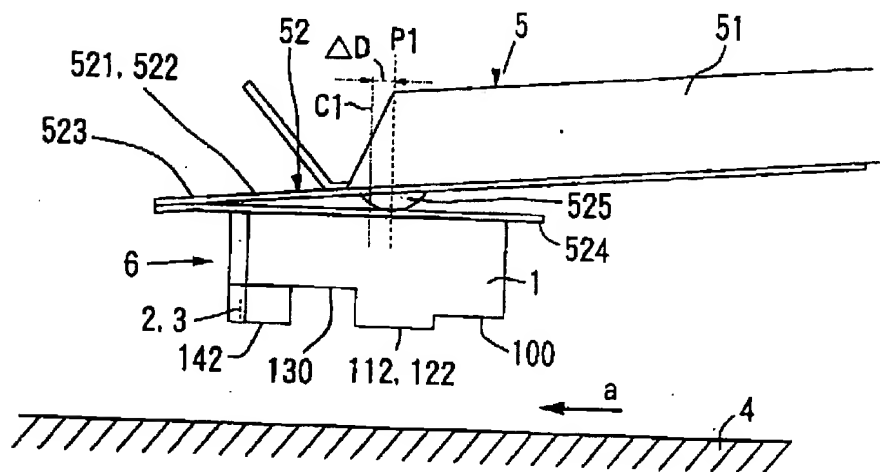


图 8

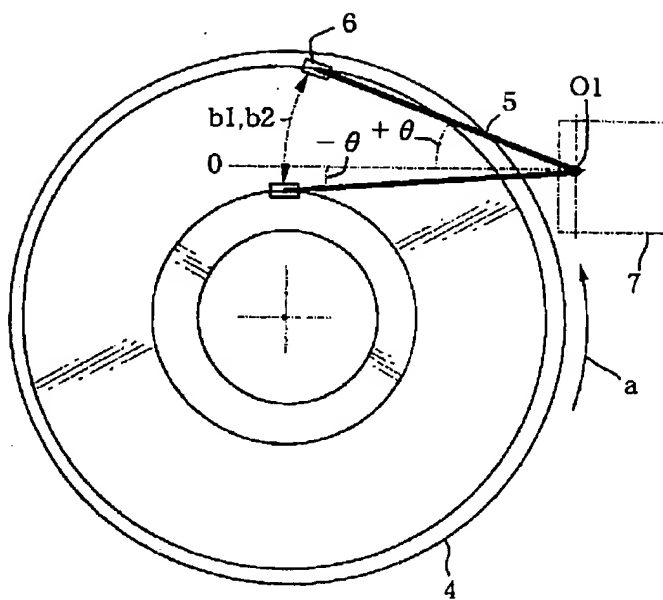


图 9

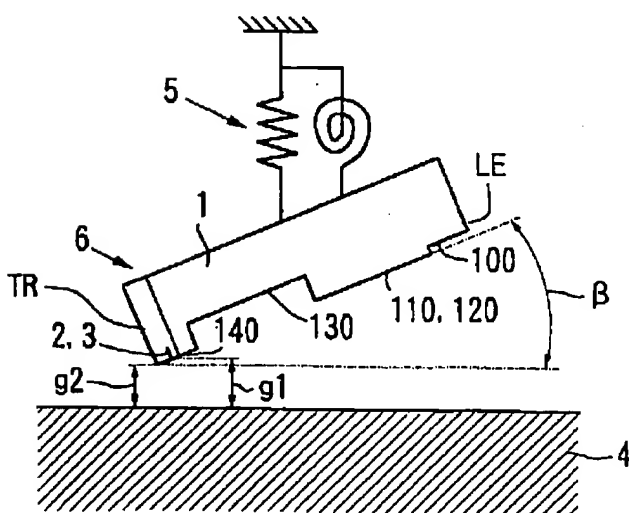
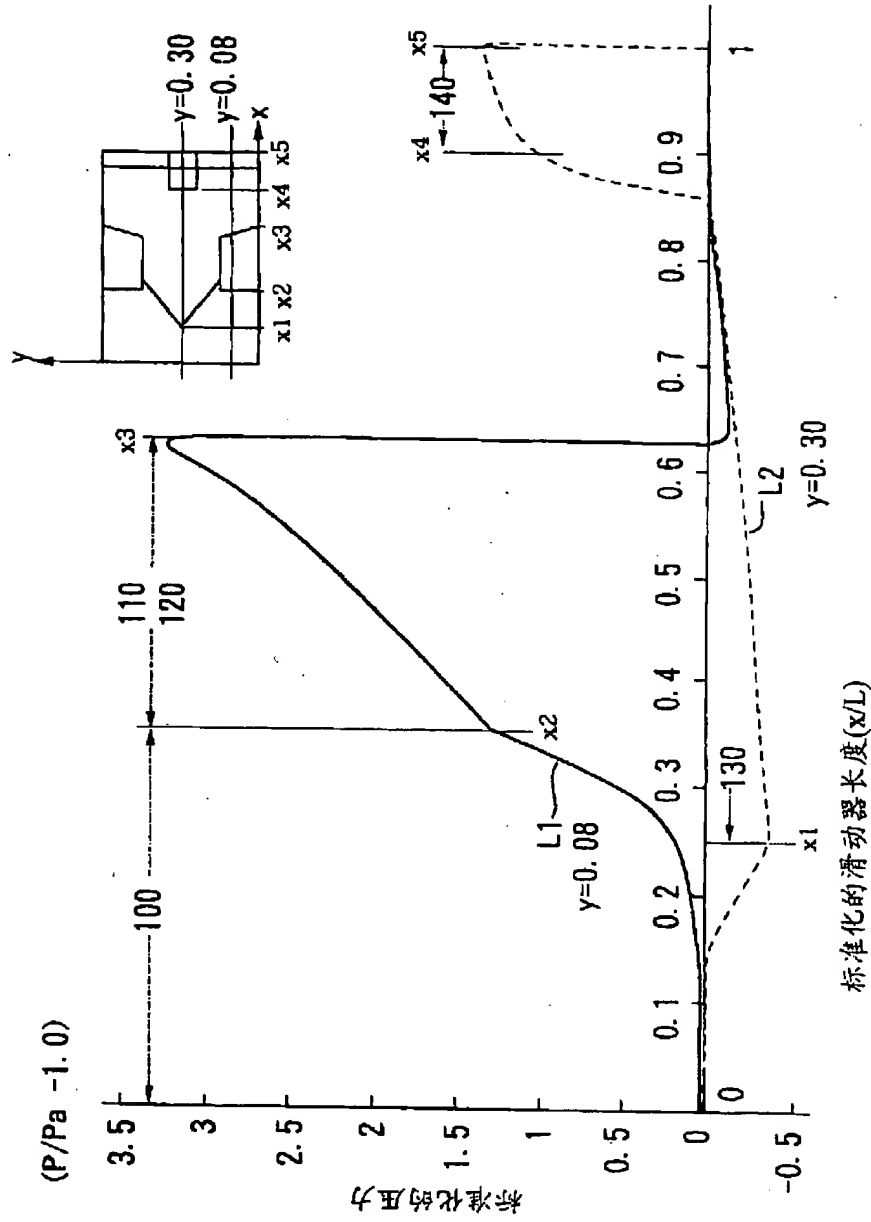


图 10



11

FIG. 12

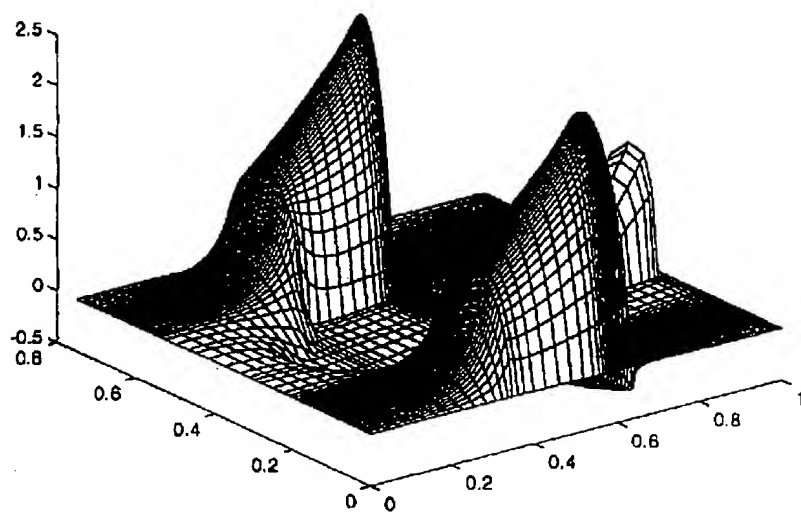


图 12

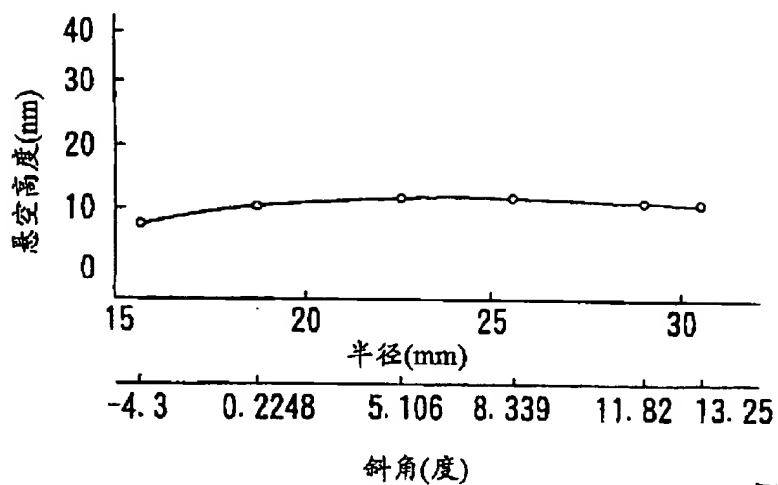


图 13

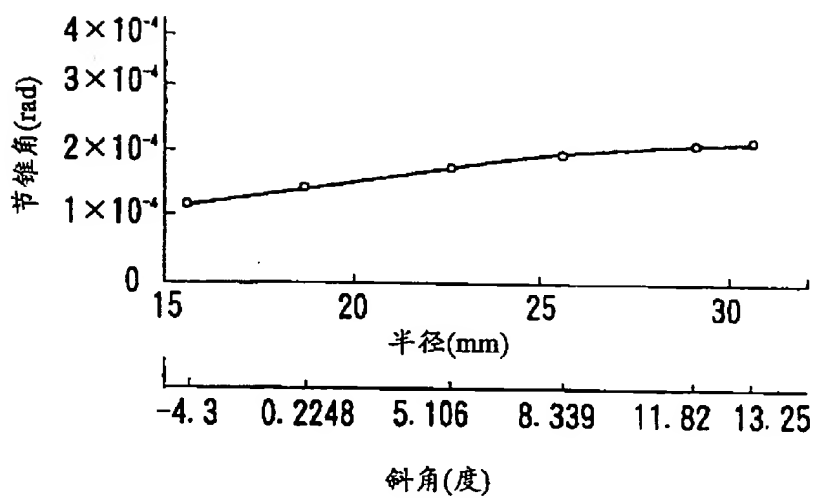


图 14

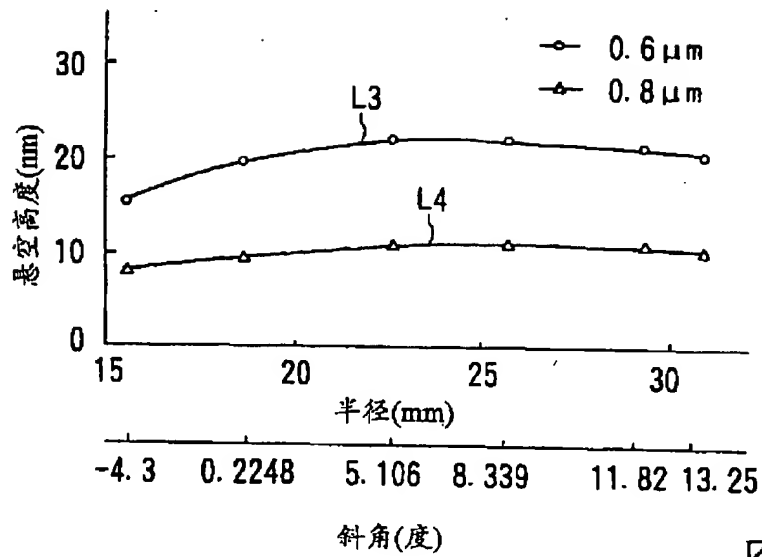


图 15

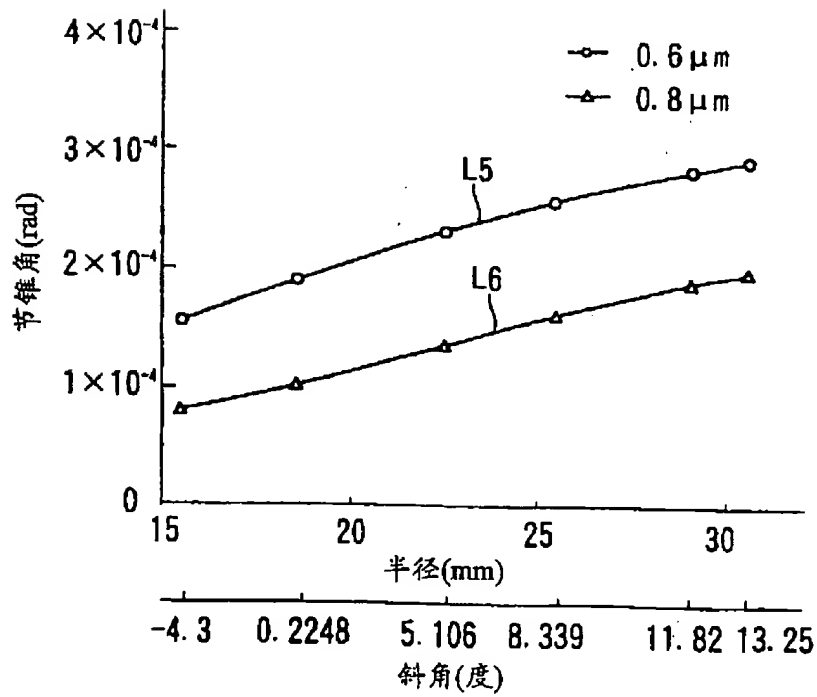


图 16

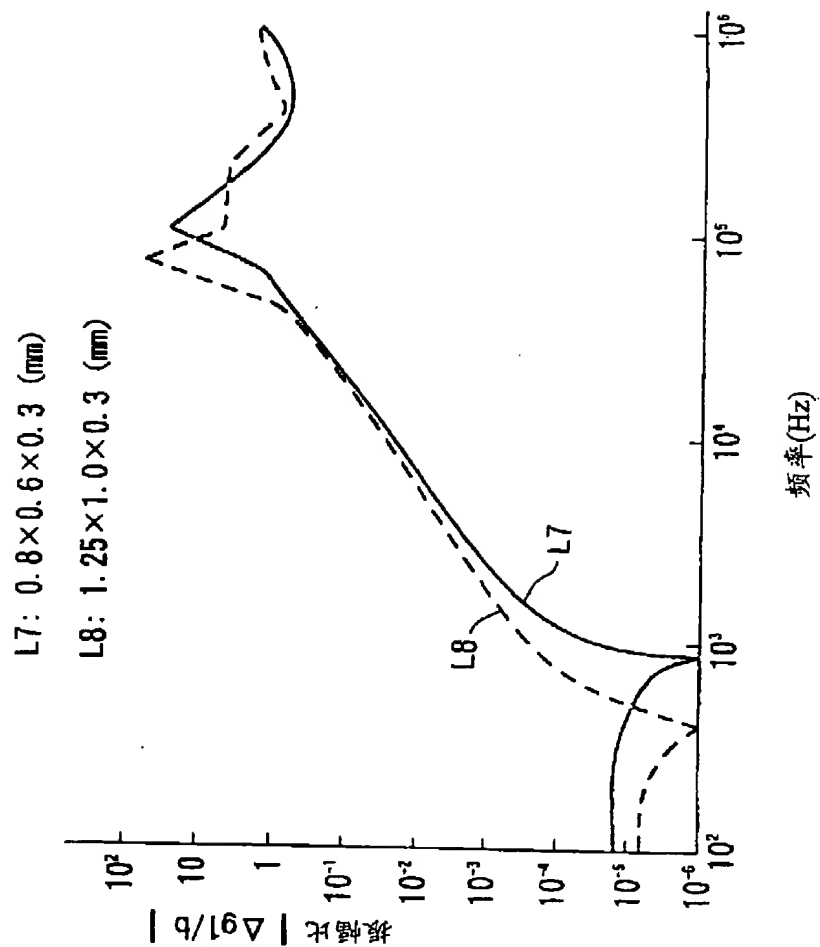


图 17



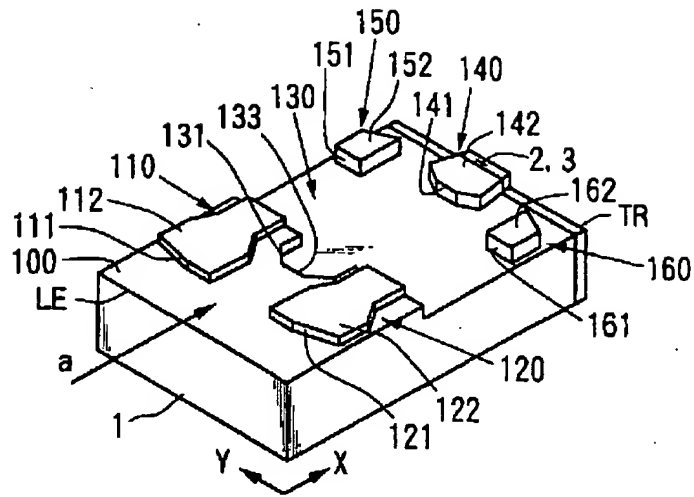


图 18

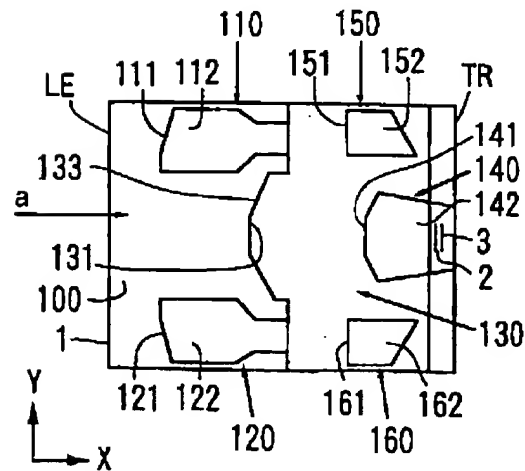


图 19

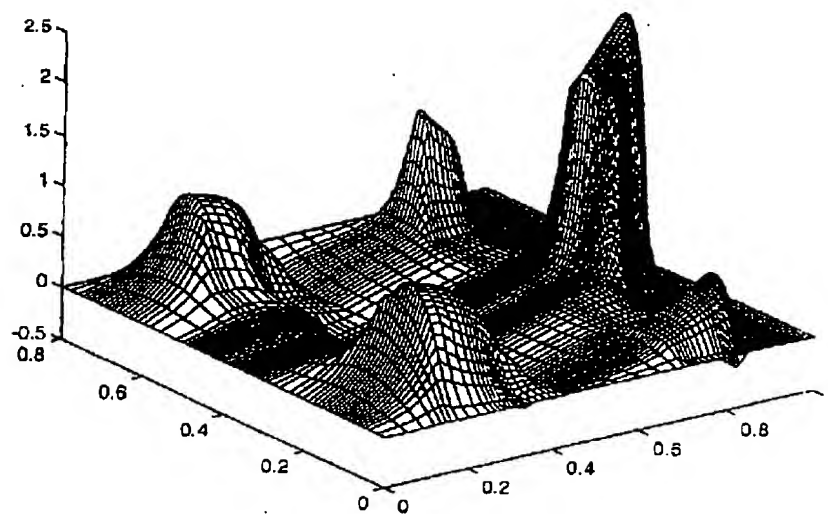


图 20

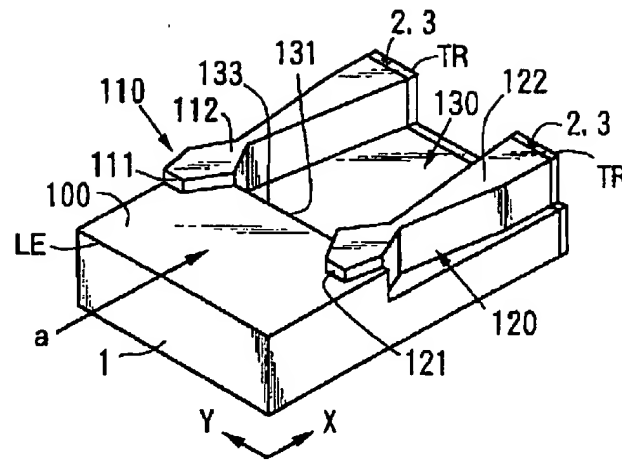


图 21

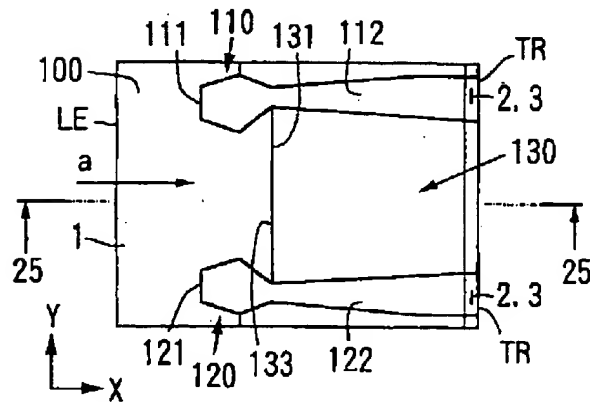


图 22

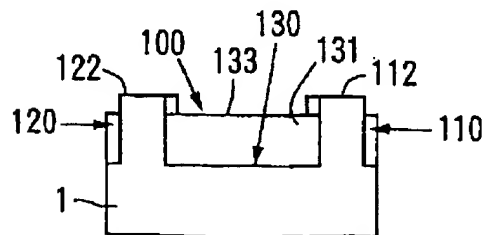


图 23

NO. 07-1

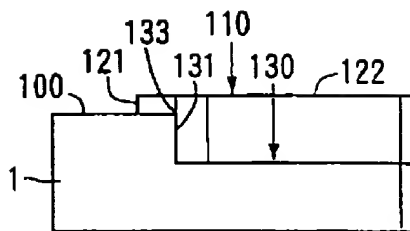


图 24

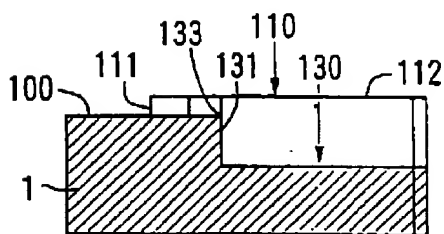


图 25

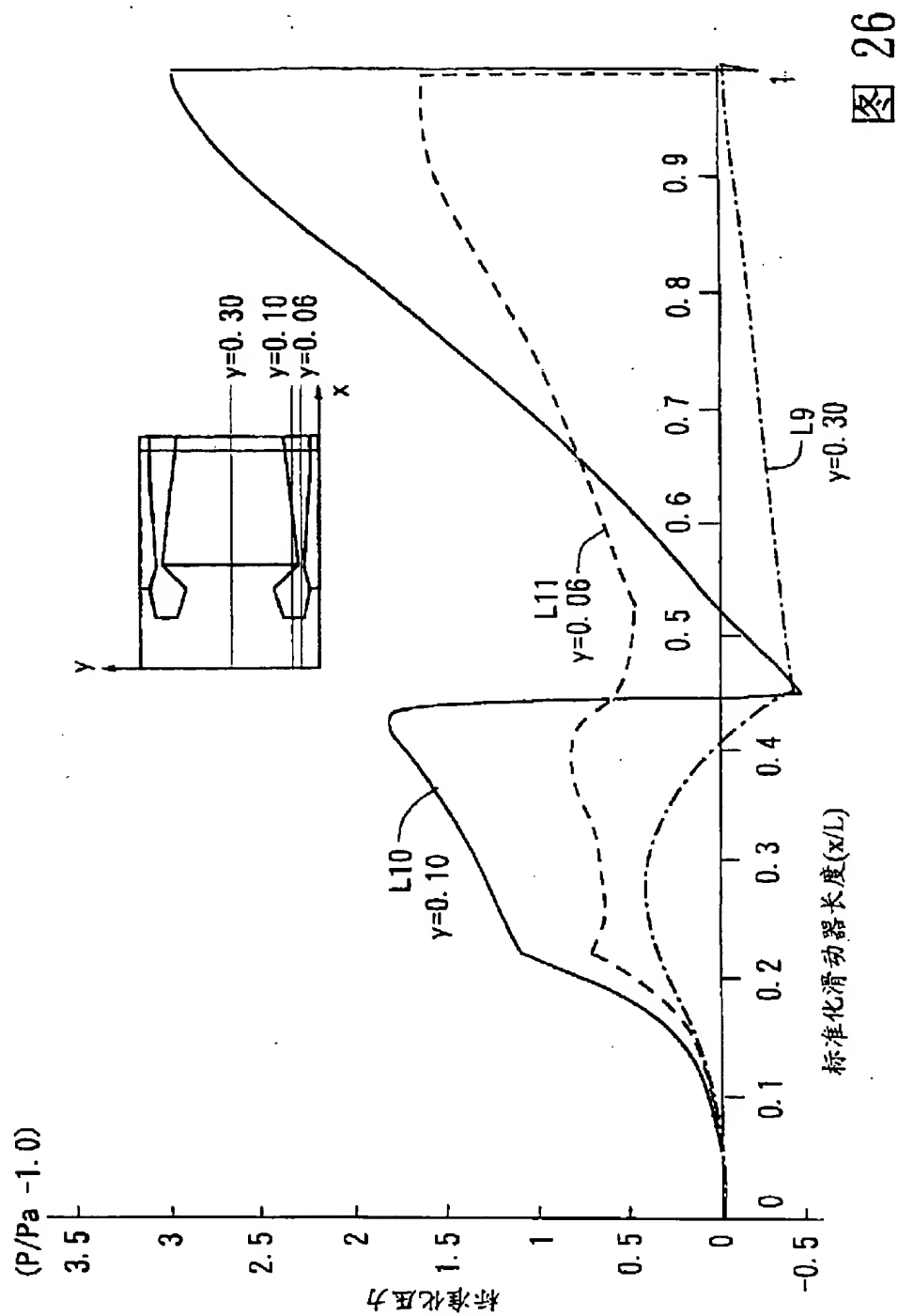


图 26

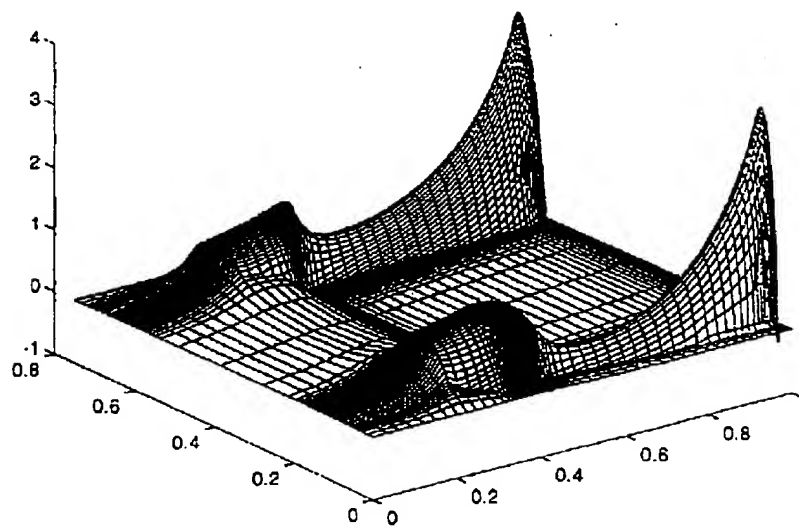


图 27

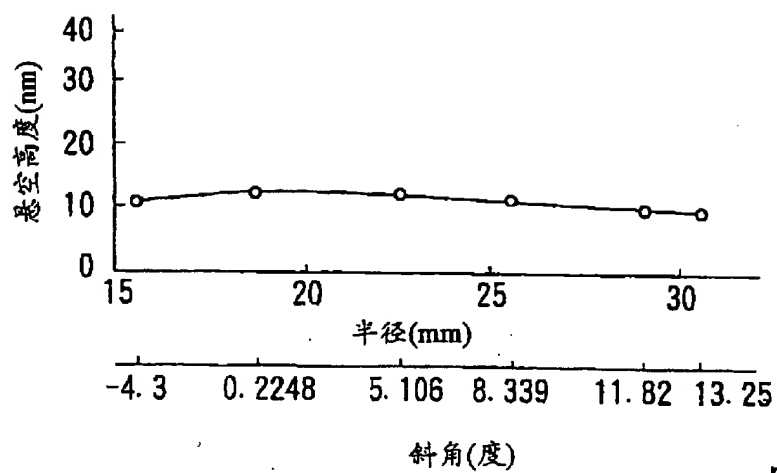


图 28

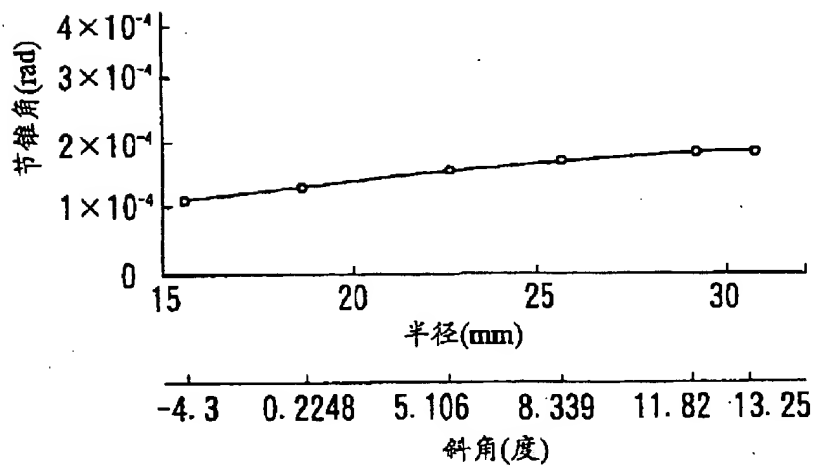


图 29

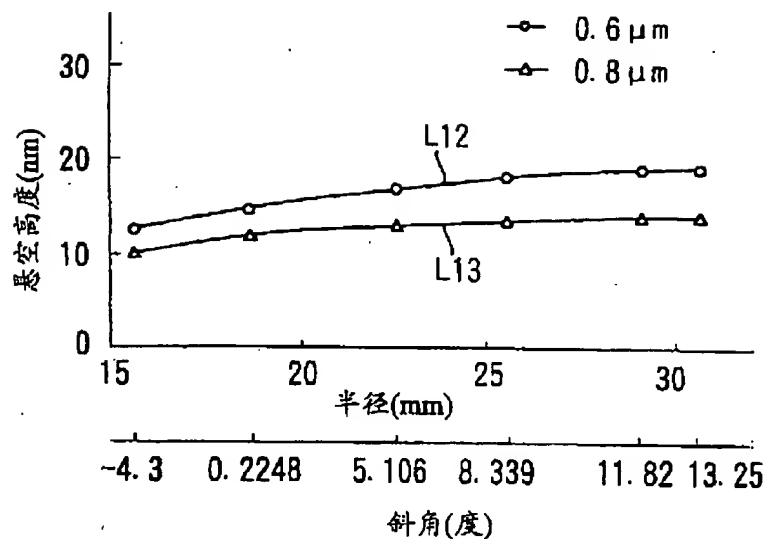


图 30

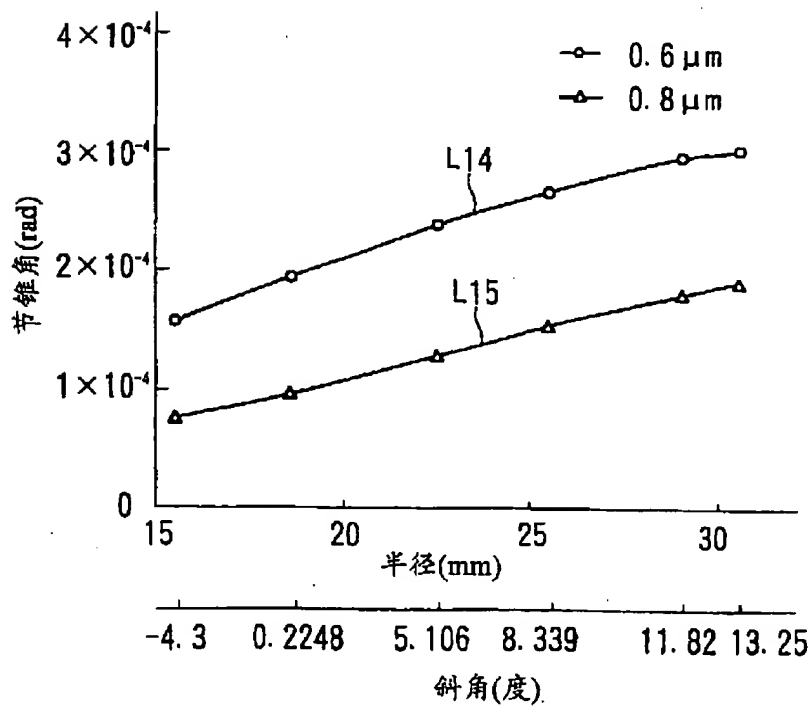


图 31



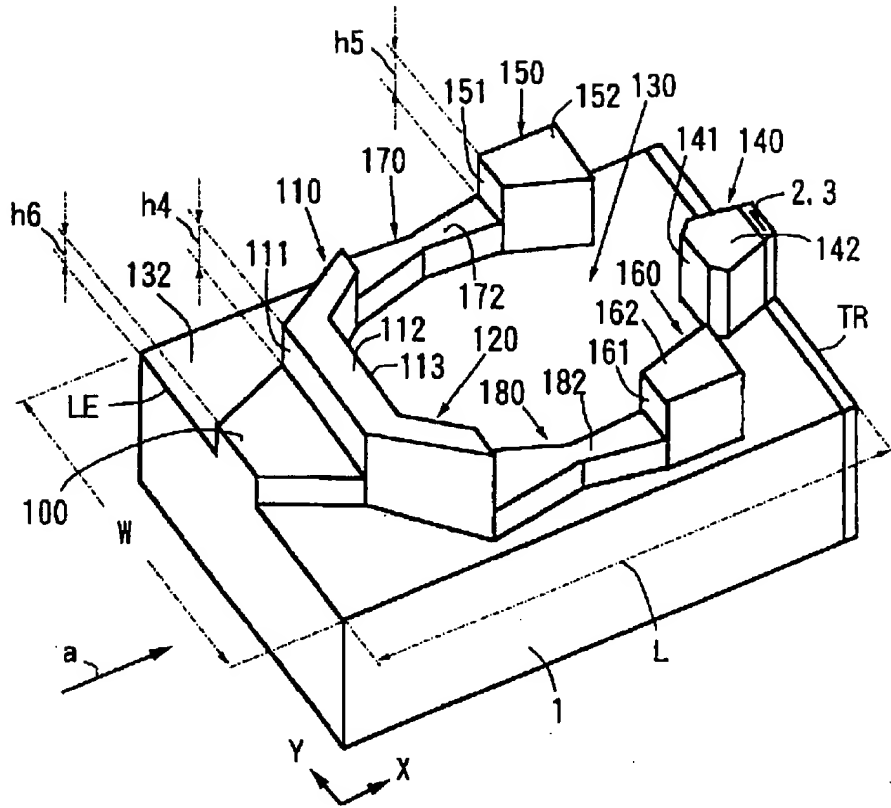


图 32

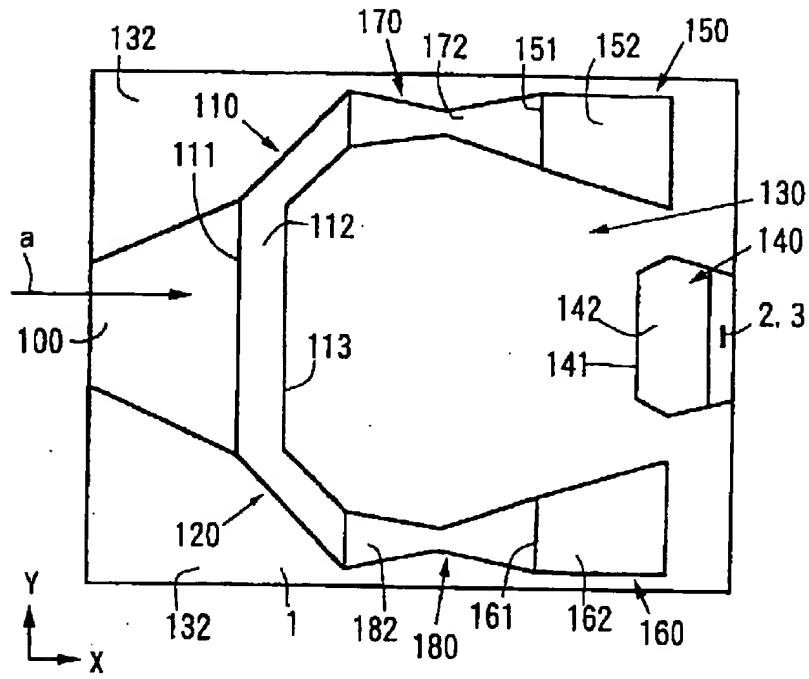


图 33

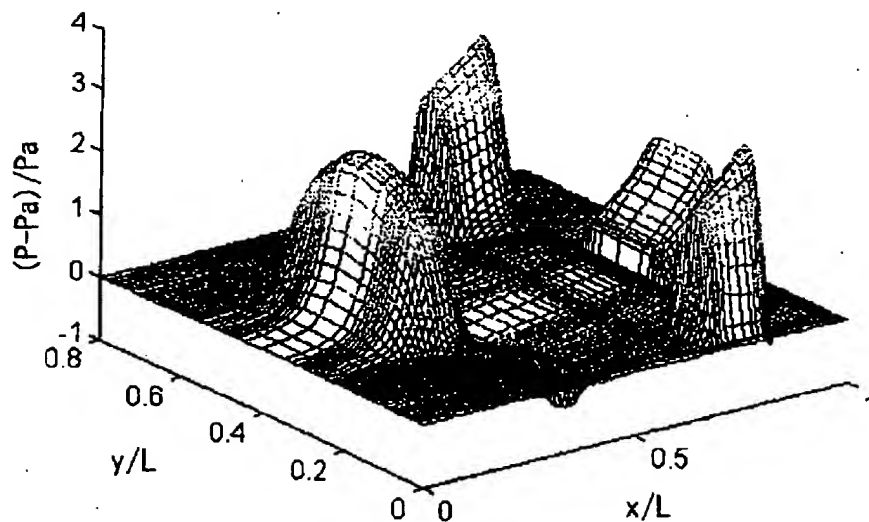


图 34

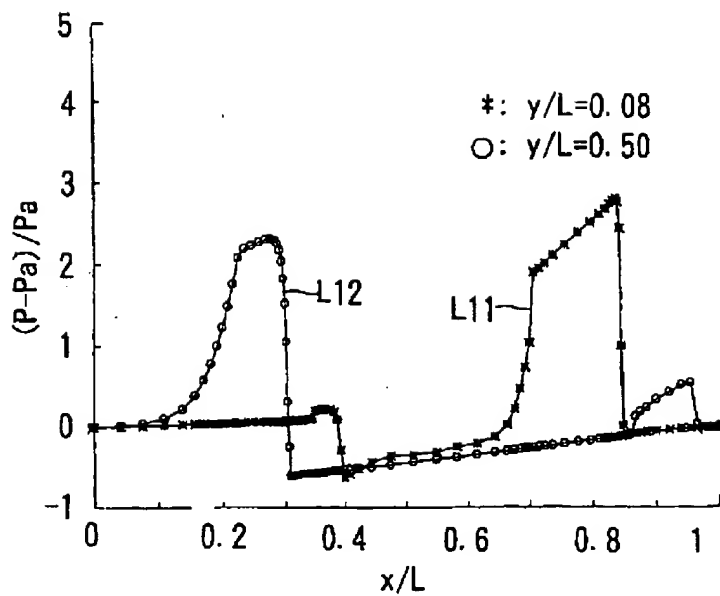


图 35

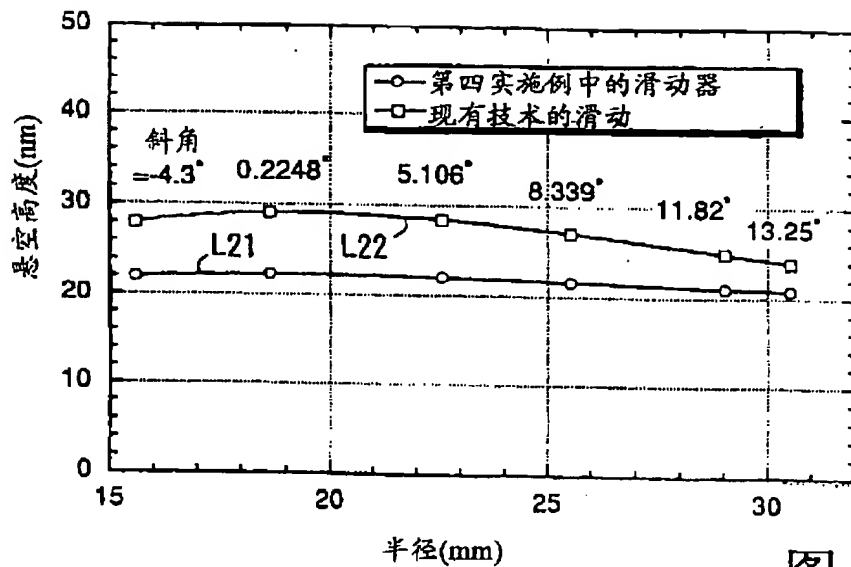


图 36

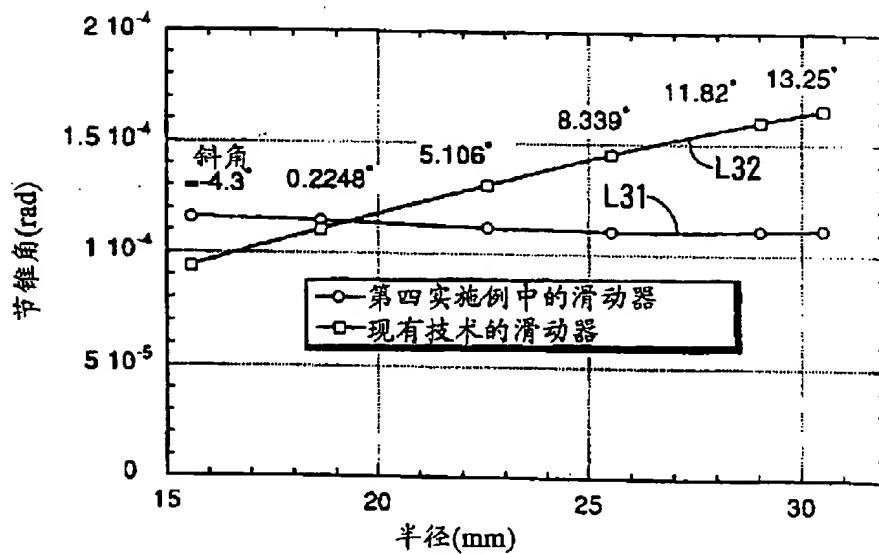


图 37

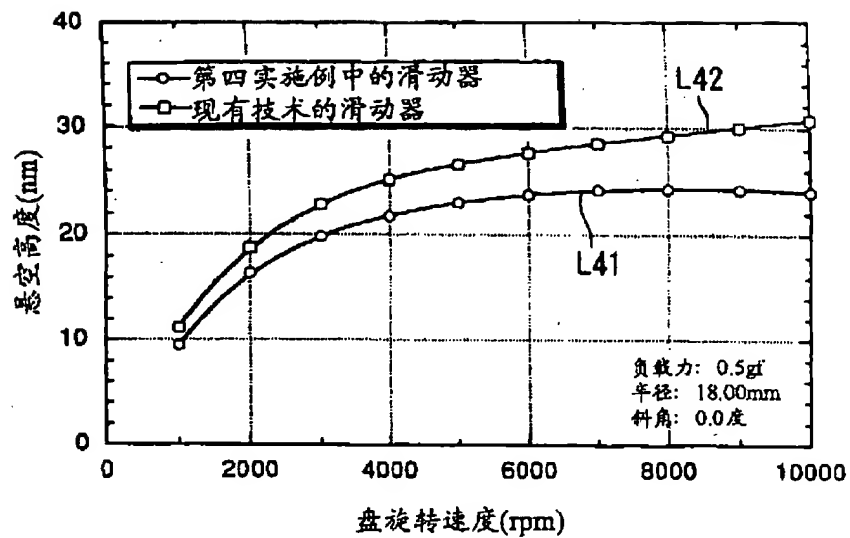


图 38

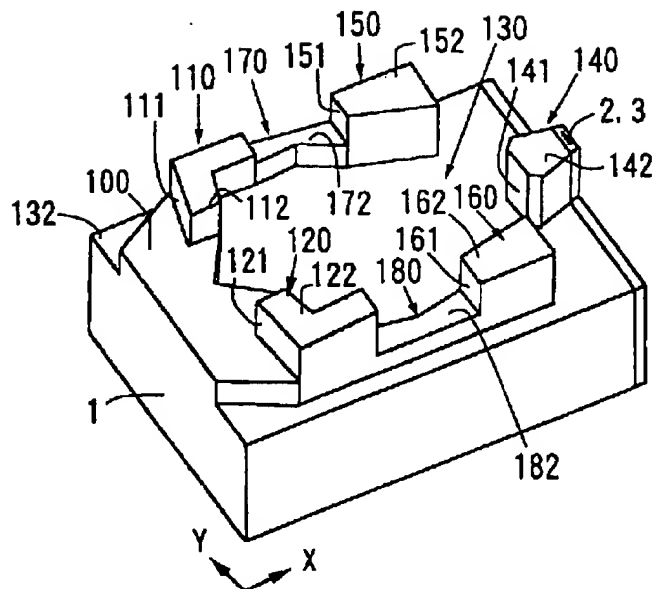


图 39

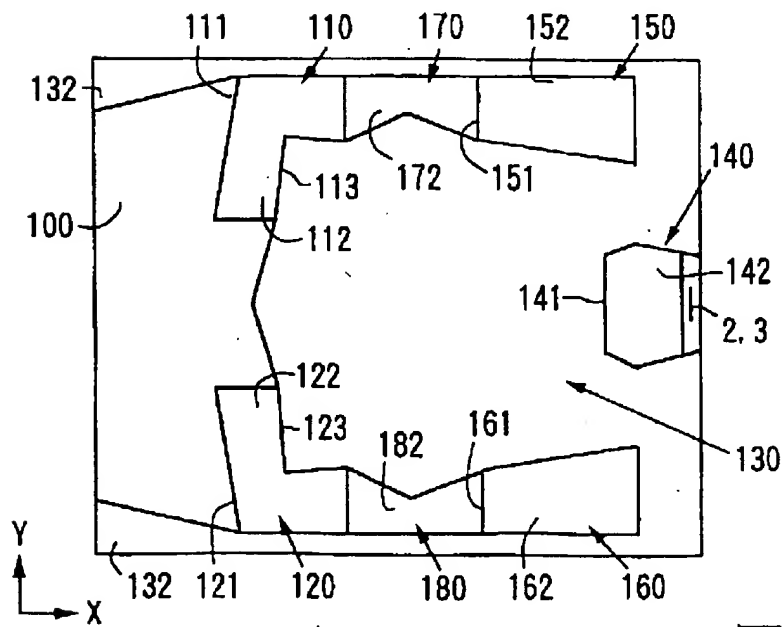


图 40

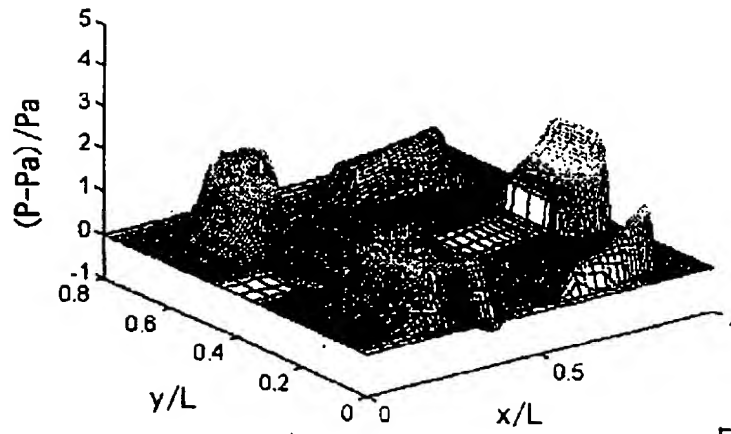


图 41

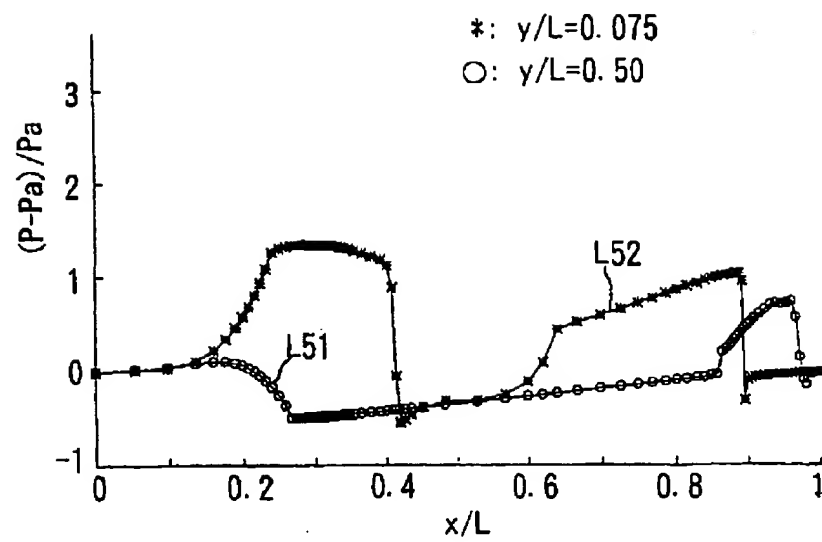


图 42

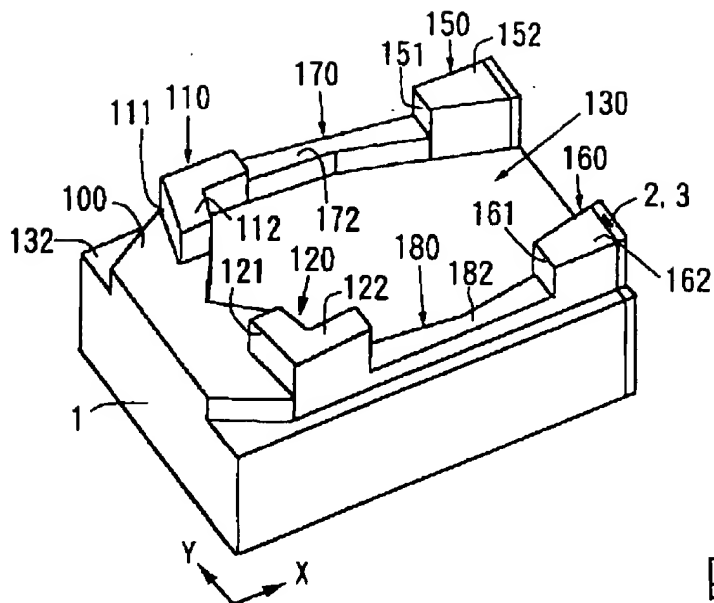


图 43

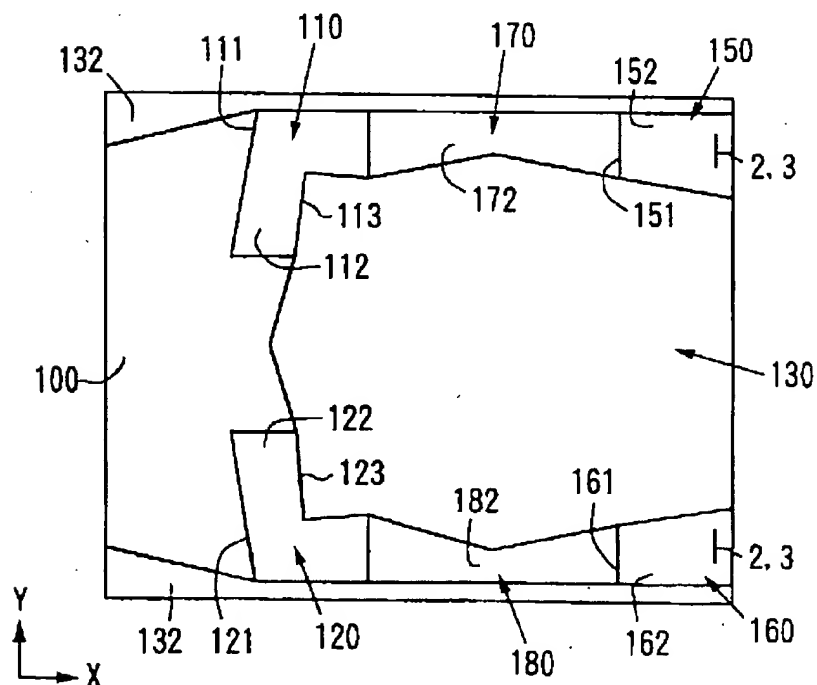


图 44



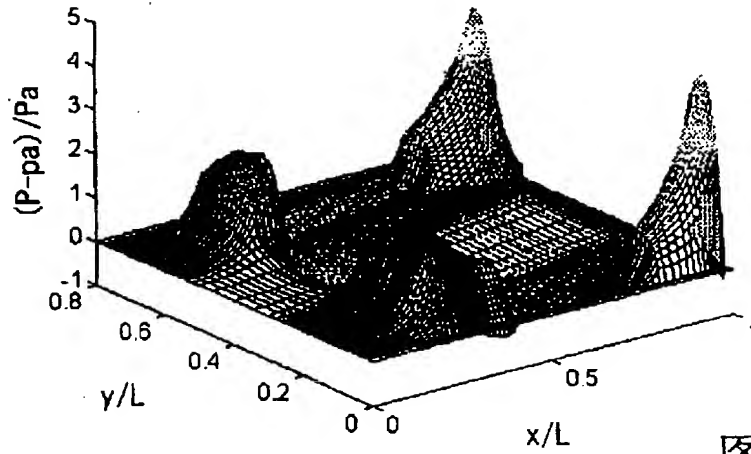


图 45

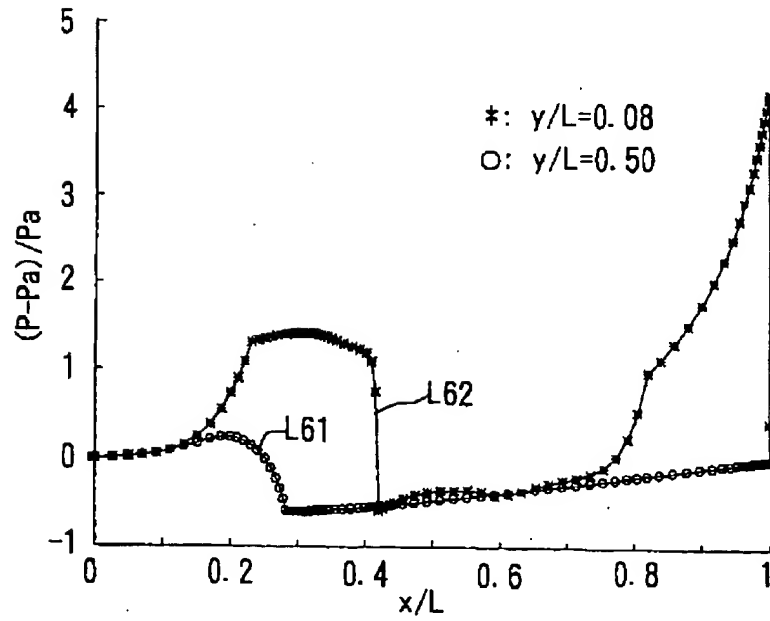


图 46

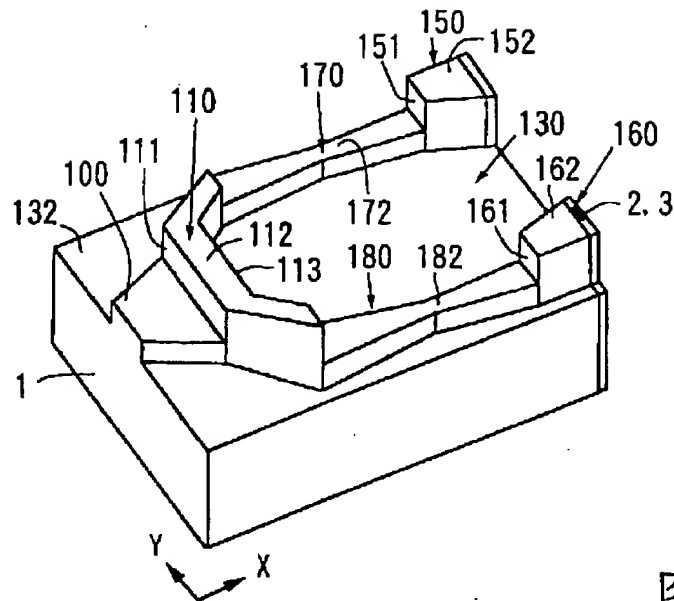


图 47

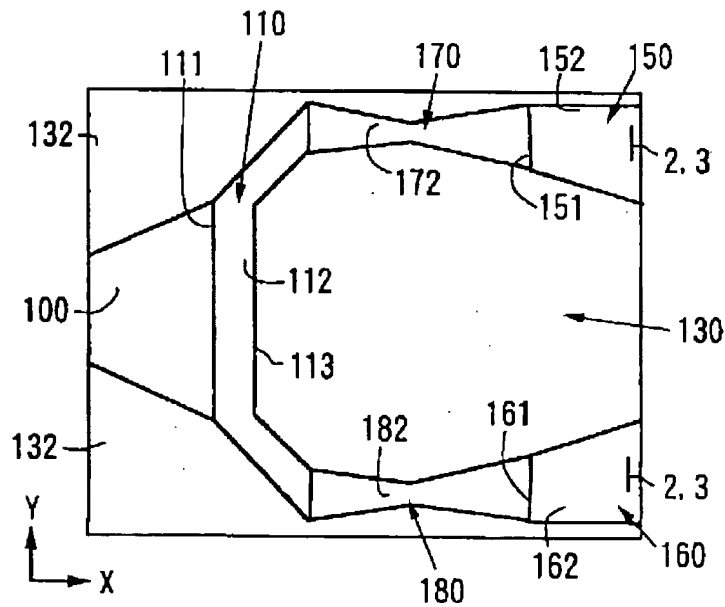


图 48

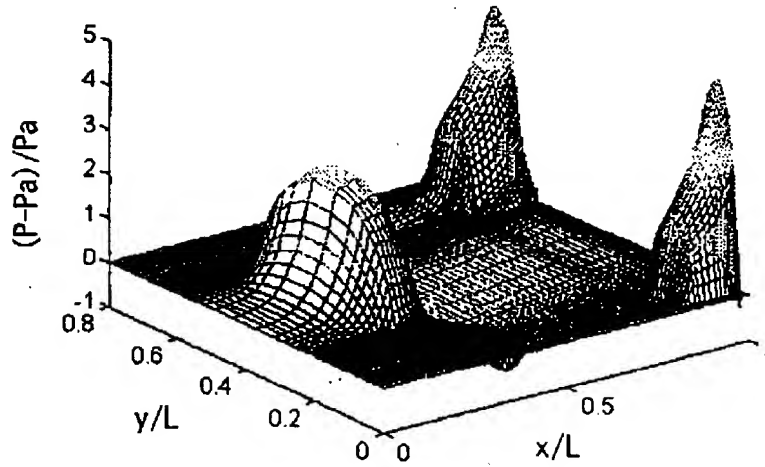


图 49

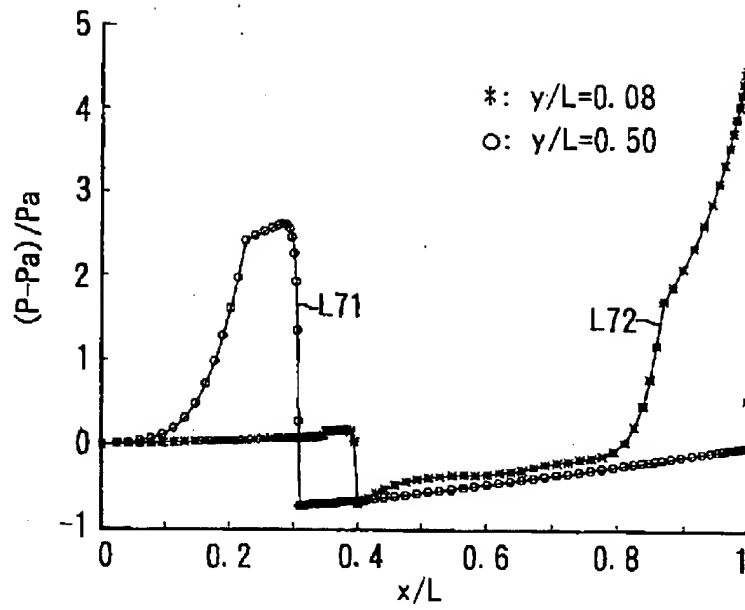


图 50

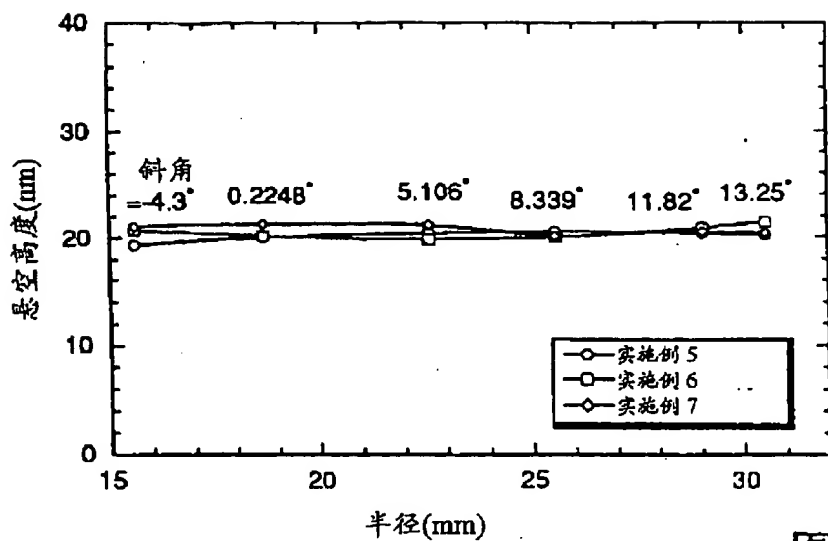


图 51

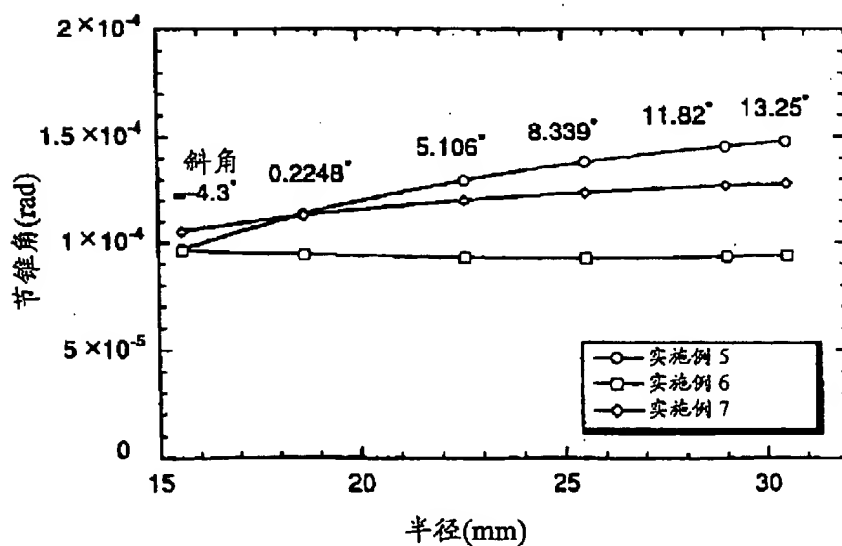


图 52

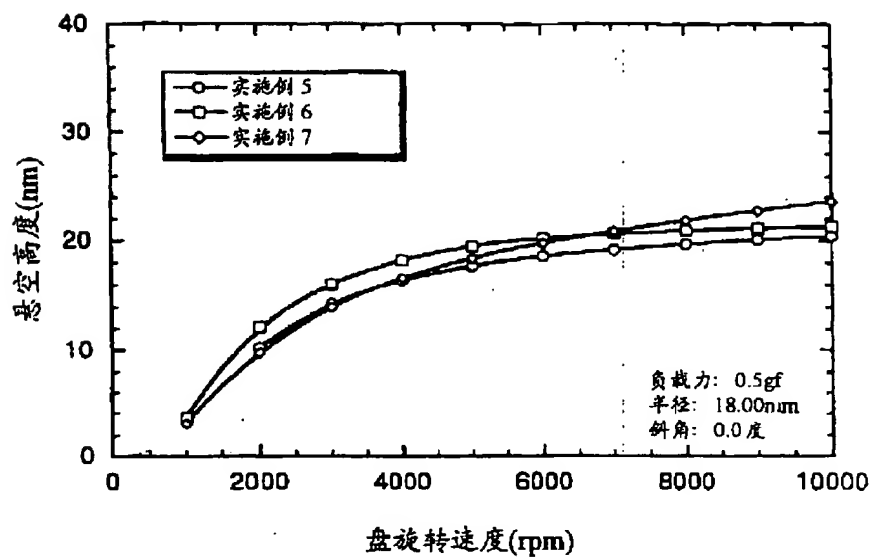


图 53